علوم الأرض

- الطبقات الديفونية
- الصخور النارية
- العاقات المتبادلة بين الطبقات
- النبيت والوحيش
- الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غي المستقرة

- طرق حفر الآبار
- التراكيب الأولية في الصخور الرسوبية
- جغرافية القبة السماوية

خديجة أحمد عبيد

www.darsafa.net



﴿ وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ﴾

صدق الله العظيم

علوم الأرض

(الطبقات الديفونية، طرق حفر الآبار، الصخور النارية، الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة، التراكيب الأولية في الصخور الرسوبية، العلاقات المتبادلة بين الطبقات، جغرافية القبة السماوية، التيبت والبحيش)

علـــــوم الأرض

- الطبقات الديفونية
- طرق حفر الآبار
- الصخور النارية
- التراكيب الأولية في الصخور الرسوبية
- العلاقات المتبادلة بين الطبقات
- جغرافية القبة السماوية
- النبيت والوحيش
- الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة.

إعداد

خديجة أحمد عبيد

الطبعة الأولى

2009م - 1430هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان

علوم الأرض : (الطبقات الديفونية، طرق حفر الآبار، الصخور النارية، الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة، التراكيب الأولية في الصخور الرسوبية، العلاقات المتبادلة بين الطبقات، جغرافية القبة السماوية، النبيت والوحيش)

تاليف : خديجة احمد عبيد

الطبعة الأولى

2009 م - 1430 هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع

عمان - شارع السلط - مجمع الفحيص التجاري -
تلفاكس **+962 6 4612190**
ص.ب **922762** عمان - **11192** الاردن

DAR SAFA Publishing - Distributing
Telefax: +962 6 4612190 P.O.Box: 922762
Amman 11192- Jordan
http://www.darsafa.net
E-mail :safa@darsafa.net

الفهرس

المقدمة.. 7

الفصل الأول: الطبقات الديفونية.................................... 9

الفصل الثاني: طرق حفر الآبار 21

الفصل الثالث: الصخور النارية 41

الفصل الرابع: الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف

الجيولوجية غير المستقرة 69

الفصل الخامس: التراكيب الأولية في الصخور الرسوبية 107

الفصل السادس: العلاقات المتبادلة بين الطبقات......................... 161

الفصل السابع: جغرافية القبة السماوية 193

الفصل الثامن: النبيت والوحيش 203

المراجع 235

المقدمة

الحمد لله الذي هدانا إلى الإسلام، وجعلنا من أمة محمد عليه الصلاة والسلام، أمة (اقرأ).

وبعد:

لم تزل دار صفاء للنشر والتوزيع، تحث الخُطا على درب التقدم العلمي، والرقي الحضاري، بسيرها على نهج العلماء، وتعاملها مع نتاجاتهم الفكرية الرائدة. وآلت على نفسها، أن تقدم لأعزائها الطلبة ، ما يروي غليلهم من الاستزادة من ينابيع العلم الثَّرَّةِ التي لا ينضب لها معين.

وكما رفدتهم بكتب الرياضيات الحديثة، والأحياء والكيمياء، والفيزياء، فإنها تفخر اليوم، بأن ترفدهم بكتب علوم الأرض.

لقد حلّقت دار صفاء في فضاءات علوم الأرض، فارتأت أن تشحذ همم أبنائها بكل ما هو نافع ومفيد، فقطفت من حدائق أزهارها أبهجها، وترسّمت نموّ المفاهيم العلمية، وصولاً إلى أحدث ما توصل إليه العلماء، بعقولهم الناضجة، وأفكارهم النيرّة، من دراسات واكتشافات واختراعات، بهدف غرس منهجية التفكير العلمي لدى الطلبة، وتوسيع مداركهم إلى أبعد حدود المواضيع الدراسية المقررة عليهم. فأضفت بذلك إلى المكتبات العربية رونقاً جديداً من كتب علوم الأرض التي توفر على الطلبة والمهتمين الوقت والجهد في البحث عن ضالتهم من المعلومات.

ذلك أن كتب علوم الأرض التي أصدرتها دار صفاء للنشر والتوزيع، قد اتسمت بالشمولية، وتضمنت صفحاتها ما يحتاج إليه الطالب في دراسته، وإعداد تقاريره وأبحاثه.

ولم نزل على طريق العلم، والتفجر المعرفي.

﴿ ربنا لا تزغ قلوبنا بعد إذ هديتنا، وهب لنا من لدنك رحمة، إنك أنت الوهاب ﴾.

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

الناشر

١

الفصل الأول

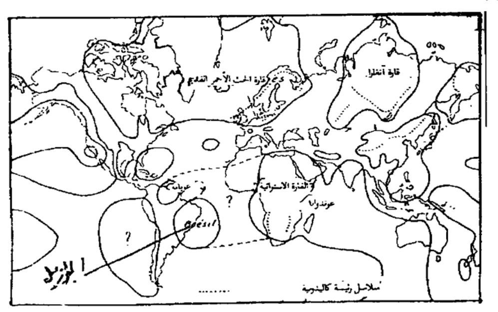
الطبقات الديفونية

الفصل الأول

الطبقات الديفونية

1- صفات عامة.

لقد استعير اسم الديفوني من إقليم ديفونشاير، وهي كونتية في جنوب غرب انكلترا.



شكل (1) الجغرافيا القديمة الديفونية

أما من وجهة النظر الباليئونتولوجية (نسبة لعلم المستحاثات)، فإن الديفوني هو عصر الأسماك المدرعة والعقربيات Gigantostracees. وراحت ثلاثيات الفصوص تتناقص، وكذلك شأن الحلزونيات Nautiloides، في حين انتشرت أشباه الآمونيات (Goniatites و Clymenie). وظهرت أوائل النباتات

ذات النسيج الوعائي الأصيلة في الديفوني (Psilophytales) وهذه هي أيضاً أقدم النباتات المعروفة.

ومن وجهة النظر الجغرافية القديمة (شكل 1) فإن الجن الاسكنديناڤي، الذي توسع بفضل الالتواءات الكاليدونية، قد أصبح الآن ملتحماً بقارة الأطلنطي الشمالي، كما توضحت معالم البحر المتوسط الشرقي أكثر فأكثر (بحر تيتيس Thetys وميزوجيه Mesogee).

وراحت التضاريس الكاليدونية تتخرب تدريجياً وتشكلت على حساب أنقاضها (صخور الحث الحمراء القديمة)، وهو تشكل صحراوي يصادف في انكلترا الشمالية وفوق الجن الكندي والجن البلطي اللذين يحتلان موضعاً مناظراً للنهايتين المتقابلتين من قارة شمال الأطلنطي الكبرى. وعلى هذا الأساس وجب أن تكون الأوضاع الجغرافية والمناخية التي تحققت في هذه المنطقة الواسعة منسجمة جداً.

ويكون الديفوني متشراً بشكل فريد في الآردين (شمال شرق فرنسا) وفي هذه المنطقة تم اقتباس نماذد الطوابق الرئيسة:

الديفوني الأعلى:

فامنّي (شيست Famenne ذو Spirifer Verneuilli).

فراسني (شيست وكلس Frasnes ذو Atrypa reticularis، Orthis Striatule Gepyroceras intumescens).

الديفوني الأوسط

جيفيتي (كلس Givet، ذو وحيش مرجاني، Stringocephelus Burtini و Uncites gryphus).

إيفيلي (شيست وصخور كلس Couvin وإيفل ذو Calceeola Sadaline، Spirifer Cultrijugatus).

الديفوني الأسفل

كوبلنسي (شيست **Coblence**، حث ذو **Athyris undata**).

جيديني (شيست **Gedinne**، ورصيص فيان).

2. التوزع الجغرافي.

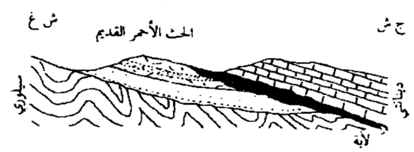
أ. منطقة الحث القديم الأحمر أو سحن الديفوني القارية.

يعرض الديفوني نفسه في هذه المنطقة التي تضم الجزر البريطانية، باستثناء الجنوب، والجن البلطي، على شكل حث لاغوني أو صحراوي سميك جداً يكاد يكون أفقياً. وهذه المنطقة، التي ظلت مستقرة منذ الالتواءات الكاليدونية، هي التي تمثل حقاً السلسلة الكاليدونية.

ويتم الانتقال من السيلوري البحري إلى الديفوني شبه القاري بواسطة طبقات انتقالية مختلطة، حيث تتداخل السافات البحرية الصرفة ذات رخويات وقصيرات الأرجل مع الطبقات اللاغونية ذات الأسماك المدرعة والعقربيات **Gigantostraces** والسافات ذات الهياكل العظمية. ويطلق على هذا المجموع من الطبقات حالياً اسم داونتوني **Downtonien** والتي تعتبر كأساس للديفوني.

أما بالنسبة لصخور الحث القديمة الحمراء فتظهر أجمل انكشافاتها على ساحل إيرلندا الجنوبي، وفي جنوب وجنوب شرق بلاد الغال، جبال شفيوت (شكل 2)، ولاولاند **Lowlands** ونهاية الهايلاند وكذلك في جزء أوركاد وجنوبي خليج فنلندا...إلخ. وليست كل هذه الانكشافات، التي تبدو أحياناً صغيرة الرقعة، أكثر من مزقات غطاء كان في السابق شديد الاتساع والذي عمل الحث على تهديمه والذي كان يغطي قارة فسيحة. وتكون هذه الصخور الرملية (الحث) الشديدة السماكة والوردية اللون، صفراء أو خبّازية **Mauve**، صفاحية ومندمجة دائماً مع رصيصات، ومع مارنيات وحتى مع تكوينات حاوية على الملح (جبس، ملح صخري). ويكون التطبق فيه متصالباً على الغالب، كما أن الوحيش الذي نجده فيه، فريداً جداً ومن نمط مفتقر: عقربيات

Gigantostraces، أسماك مصفحة ولامعات Ganoide بدائية هي Holophtychius. وتتحول صخور الحث الحمراء القديمة باتجاه الجنوب، جانبياً إلى الديفوني البحري. وقد قادت كل هذه الصفات الجيولوجيين إلى اعتبار هذا الحث الأحمر القديم كتشكلات رملية عتيقة شبه صحراوية سبق لها أن تكدست فوق قارة واسعة على حافة البحر الديفوني، والذي كان تخمها مشخصاً على الخصوص بنهاية إيرلندا الجنوبية الغربية وببلادالغال وبالمنطقة المحصورة بين ليفونيا (ساحل روسيا على البلطيق) والبحر الأبيض (الحافة الجنوبية الشرقية للمجن الكندي). وتكون هذه المناطق، التي تتداخل فيها السحن الحثية والسحن البحرية على قدر فريد من الأهمية لإقامة التزامن بين الزمرتين.

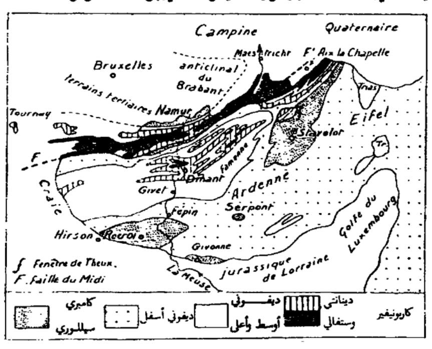


شكل (2) مقطع لجبال شفيوت (نورثمبرلند) (غوتشيلد) ويظهر منه الوضع الستراتيغرافي لصخور الحث الحمراء القديمة

ب. المنطقة ذات السحنة المختلطة البحرية في أوروبا الوسطى.

أ. الآردين: تلك هي منطقة تقليدية (غوسّليه)، كما سبق ورأينا، لدراسة الديفوني الفرنسي – البلجيكي (شكل 3). فالديفوني الأسفل الطاغي Transgressif يكون فيها حطامياً ومؤلفاً من حث ورصيص (بودينغ) بينما يكونه الديفوني الأعلى شيستياً على الغالب. ويرقد المجموع الملتوي (التواءات هيرسينية) بتنافر فوق السيلوريب. إذن تكون الآردين عبارة عن كسرة من السلسلة الكاليدونية تلقفتها الالتواءات الهيرسينية خلال الكاربونيفير. وكانت في خلال الديفوني تابعة للحافة الجنوبية من قارة الحث الأحمر القديم وتكون التوضعات المتعاقبة طغيانية فوق هذه الركيمة من الجنوب باتجاه الشمال.

ولما كانت هذه المنطقة تابعة للكتلة الشيستية الرينانية الكبرى فهو يبدو كبقعة واسعة من صخور قديمة تتخذ شكل هلال يطفو في وسط الصخور القديمة. ويتوزع الديفوني فيها حسب الطريقة التالية، من الشمال إلى الجنوب، وفي عناصر تكتونية متعاقبة. ففي محدب برابات **Brabanty** حيث تظهر الركيزة السابقة للديفوني **antedevonien**، فإن الديفوني الأوسط والأعلى هما الوحيدان المعروفان. وكذلك الحال في الجنوب، ضمن حوض نامور السنكلينالي الفسيح (شكل 4). وهناك سطح كبير من الجرف **Charriage** يفصل هذه المنطقة عن الثانية أو منطقة كوندروز الذي يعرض نفسه كمحدب مصدوع سيلوري محفوف من الشمال بالديفوني الأوسط أو الأعلى، ومن الجنوب بالديفوني الأسفل. هذا ويحوي حوض دينان السنكلينالي ديفونياً كاملاً على حافتيه. وأخيراً فإن رقعة الآردين الآنتيكلينالية، التي تؤلف القسم الأعظم من هذه المطقة الطبيعية، تكون مؤلفة أساساً من ديفوني أسفل بحري تظهر من تحته بعض العروات **Boutonnieries** من صخور أقدم (كامبرو - سيلوري) مؤلفة بقعاً آنتيكلينالية صغيرة كمنطقة روكروا، جيفون، سيربون، ستافولو.

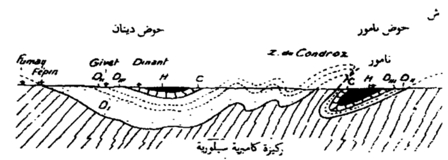


شكل (3) مخطط جيولوجي في الآردين (م. جينيو).

هذا ويكون الديفوني نامياً جداً على الحافة الجنوبية لمقعر دينـــان ويعـرض مقطعاً تقليدياً على طول وادي نهر الموز: وهنا يبـدأ الجيديـني **Gedinien** المتنـافر فوق الكامبري، برصيص **Fepin** المغطّى بآركوز هايب **Haybes** ومن فوقه تـأتي صخور شيست موندروبوي **Mondrepuis**، ثم شيست واين **Oignies** المـبرقش ذو مصفحات الجلد **Placodermes** القريبة من سمك القرش.

ويبدأ الكوبلنسي هنا بحث آنور **Anor**، المتبـوع بغروواك **Montigny** مـع سافات شيستية غنية جداً بالمستحاثات (ثلاثيـة الفصـوص وقصـيرات الأرجـل) (كوبلنسي أسفل أو سييغني **Siegenien**) ثم تأتي صخـور حـث وشيسـت فـيرو **Vireux**، وأخيراً غروواك هيرج **Hierges** الشديد الغنى بالمستحاثات (كوبلنسي أعلى أو إمسي **Emsien**).

ويتشكل الإيفيلي **Eifilien** من شيست ذي عدسات كلسية (صخر كلـس كوفان).



شكل (4) مقطع تبسيطي للصخور الديفونية والكاربونيفيرية في حوضي دينان ونامور. حسب مجرى وادي الموز (D، ديفوني أسفل. ´D: ديفوني أوسط. ˝D، ديفوني أعلى. C، ديناني. H، وستفالي)

ويتمثل الجيفيـتي **Givetien** بصخـور كلـس جيفيـه **Givet** ذات الوحيـش الرصيفي الجميل.

ويكشف الفراسـني، في قاعدتـه، عـن شيسـت وصخـور فراسـن **Frasne** الكلسية مع عدسة من كلس رصيفي كثير المستحاثات، ثم تأتي صخـور شيسـت

صرفة تظهر فيها أوائل أشباه الأمونيات (Gephyroceras intumescens) (شيست Matagne).

ويعرض الفامنّي هنا نموذجه من شيست فامن Famenne.

وهناك تغيرات هامة في السحنة تستحق التنويه بها في مجال منطقة الآردين. وهكذا نجد باتجاه الجنوب؛ أي في المنطقة الواقعة إلى الجنوب من كتلة مرتفعات سيربون، آن الجيديني والكوبلنسي يصبحان شيستيين كلياً، اما باتجاه الشمال، فعلى العكس، يصبح الديفوني ذا ثغرات وساحلياً (بساميّت فوز Fooz، وهيس سافات برونو Brunot الخشنة بالنسبة للديفوني الأسفل، وبساميّت كوندروز في الفاميني، ثغرة الديفوني الأسفل في حوض نامور، وحتى في الإيفيلي عند حافة محدب برابان، حيث يبدأ الديفوني بالجيفيتي مع رصيص القاعدة).

ب. الكتلة الشيستية الرينانية: تتمدد الكتلة الآردينية في اتجاه الشرق بالكتلة الشيستية الرينانية، حيث يكون الديفوني بدوره، كثير الانتشار ونال دراسة إضافية. ولا يزال الجيديني، الحثّي - الشيستي، غير معروف تماماً، في حين يكون الكوبلنسي واسع الانتشار وتمّ تقسيمه فرعياً إلى طابقين: سييغني Siegenien في القاعدة (غروواك، شيست وحث سييغن Siegin، الشديد الغنى بالمستحاثات، كوارتزيت تاونوس وشيست هونسروك)، والإيمسي Emsien في الأعلى (غروواك كوبنلس الشهير بغناه بوحيشه). هذا وقد ضَمُرت السحن الحطامية خلال الديفوني الأوسط في الوقت الذي بدأت تظهر للوجود السحن الكلسية ولا سيما في موقع إيفل Eifel، بينما كانت طبقات الشيست العميقة تترسب في مقعر هسّ Hesse مع عضويات بيلاجية (بحرية عميقة) (الجسيّات Tentaculites) ورأسيات الأرجل (نطاقات تقليدية لـ Goniatites) وعلى كل حال تستمر السحن الحطامية، إلى الشمال من سوويرلند؛ أي عند الاقتراب من قارة الحث الأحمر القديم، تستمر السحن الحطامية (حث أحمر) وذلك في معقدات شيستية (شيست لين Lenne).

ويتشكل الفراسني من صخور كلسية مارنية ذات رأسيات الأرجل (مارنيات ذات غونياتيت Goniatites بيريتية تشكل نطاقات تقليدية، وGephyroceras شيست ذي استراكودا Ostracodes وذي غونياتيت (نوع Cheiloceras)، وينتهي بصخور كلسية شبه لوزية ذات Clymenies. ولنضف أن الديفوني الأوسط والأعلى في هذه المناطق الرينانية يحتوي على طف بركاني وعروق طبقية من دياباز، كما يحوي الديفوني في الكتل الهيرسينية من أوروبا (هارز وبوهيميا) سحناً مماثلة جداً للسحن التي سبق أن لاحظناها قبل قليل في المناطق الرينانية.

جـ. بولونّيه Boulonnais: تمثل هذه المنطقة التي تمدد حوض نامور نحو الشمال الغربي، إذن، عودة صخور الآردين القديمة للظهور بعد تلاشيها في هذا الاتجاه تحت الطبقات الكريتاسية. ويكون الديفوني فيها، شأنه في حوض نامور، ساحلياً وغير كامل (فيبدأ بالجيفيتي بحالة رصيص كافييه Caffiers ويستمر بكلس بلاكور Blacourt الرصيفي). وتظهر في القمة السحنة الحثية الحمراء.

د. بريتانيا: هذا ويظهر الديفوني الكامل في مقعري لافال وشاتولان على الخصوص. أما في المقعرات الأخرى، فإن الأساس ينعدم في أكثر الأحيان، وهكذا نجد أن الزمرة تبدأ في مقعر آنجيه Angers بالكوبلنسي، مثلما تبدأ في مقعر آنسنيس Ancenis بالإيفيلي. هذا ويكوف الساف الأكثر تميزاً في مقعر لافال – شاتولان مؤلفاً من كوارتزيت بلوغاستل Plougastel (فينيستير) والذي يمثل الجيديني، وتأتي من فوقه بالتعاقب صخور الكلس الكوبلنسية، ثم صخور شيست تسمح مستحاثاته بالتعرف على بقية الديفوني، ولا سيما الفاميني (شيست ذو Cypridines وغونياتيت). وتجدر الإشارة إلى أن الديفوني في مقعر نيهو Nehou لا يشتمل سوى على الكوبلنسي الأسفل (كوارتيزت وكلس حيواني المنشأ في نيهو، في شبه جزيرة كوتنتان).

وهكذا فإن قصة هذا الديفوني البريتاني تبدو على قدر من التعقيد بفعل تزحزح البحر الذي تم من الشمال باتجاه الجنوب.

جـ. الديفوني ذو السحنة العميقة (المقعر الرومي أو المتوسطي).

وهي سحن شيستية أو كلسية وحلية، استحالية أحيانا، وملتوية على الدوام (سلسلة هيرسينية) وفي حالة استمرارية بالترسب مع الطبقات الأقدم والأحدث. ويصادف هذا النمط على الخصوص في الجبل الأسود (بريتانيا) وفي الماسيف سنترال، وجبال البيرينيه، والفوج، وجبال الألب الشرقية، وسردينيا والمغرب، وكل المناطق التي يتحقق فيها الوضع الجيوسنكلينالي.

أ. الجبل الأسود: ونجد في ديفوني هذه المنطقة كل الصفات التي عددناها قبل قليل. فعند الأساس نجد الحث والدولومي (جيديني) ثم تأتي بعدها صخور كلسية حيوانية المنشأ ذات ثلاثيات الفصوص وقصيرات الأرجل (كوبلنسي - إيفيلي). وتبدأ سحنة الصخور الكلسية الوحلية الدقيقة بالجيفيتي (صخور كلسية بيضاء في قمة بيسو Bissous ذات غونياتيت). وأخيرا فإن الديفوني الأعلى يستمر بسحناته الكلسية، التي تصبح مائلة للحمرة ولوزانية amygdalaires (مرمر - غويوت) والتي لا يضم وحيشها سوى غونياتيت، وعند القمة تماما، مستحاثات Clymenies العائدة للفاميني الأعلى.

ب. جبال الفوج: يمكن دراسة هذا الديفوني في الزمرة الاستحالية المسماة الديفونية الدينانتية ولا سيما في وادي بروش وفي غران باللون. وفي الموقع الأول يتألف من مركب مؤلف من حث ناري فتاتي Pyroclastique ومن شيست تحتوي، قرب شيرمك Schirmeck، على مرمر مرجاني مجبول بمستحاثات الديفوني الأوسط.

جـ. المغرب: يكون الديفوني في الميزيتا Miseta (أواسط المغرب) كاملا وفي حالة استمرار ترسب مع السيلوري. ويتألف في الأساس (ديفوني أسفل) من شيست ذي عدسات كلسية ومن غرورواك ذي ثلاثيات الفصوص. وتظهر السحن الكلسية الرصيفية في الديفوني الأوسط (كلس ذي بوليبيات

وStromatopores). وثم، وفي الديفوني الأعلى، تبدو السحن الشيستية العميقة ذات رأسيات الأرجل وقد اجتاحت المنطقة.

وتبدو كتلة الجبيلات، في شمال مدينة مراكش، وكأنها تشكل عتبة خلال الديفوني الأسفل – الأوسط، لأن الديفوني لا يتمثل فيها إلا بصخور كلسية وبكوارتيزيت فراسني – فاميني.

ونعثر على ديفوني، متناظر مع ديفوني الميزيتا، في الأطلس الكبير، وفي حالة استمرارية مع الغوتلندي، وهو كامل بلا ريب. ولكن الديفوني الأسفل هو الوحيد الذي تم الكشف عنه حتى الآن في الأطلس الصحراوي.

ولكي نعثر على ديفوني كامل وحاو على المستحاثات علينا أن نذهب حتى الصحراء الكبرى الشمالية الغربية، وهنا أيضاً، تصبح السحن عميقة تدريجياً في الزمان، لأنها عبارة عن حث ذي ثلاثيات الفصوص في الديفوني الأسفل، ثم تأتي صخور كلسية وشيست في الديفوني الأوسط، وأخيراً صخور شيستية وكلسية ذات غونياتيت **Clymenies** وهي التي تختتم الزمرة.

ونعثر في جبال الأورال على سحن جيوسنكلينالية ديفونية تتحول تدريجياً إلى سحن بحرية خاصة بالسطيحة الروسية **Plateforme**.

أما في أمريكا فإن الديفوني يشاهد فيها على الخصوص في الجبال الصخرية، وفي السلاسل الباسفيكية، وعند حافة الجن الكندي. وتدل طبيعة التوضعات على أن البحر قد طغى تدريجياً على القارة الأمريكية من الشرق إلى الغرب ومن الجنوب نحو الشمال خلال الديفوني الأوسط والأدنى ومن الشمال الغربي خلال الديفوني الأعلى الذي ينتهي في كل الأمكنة، بتشكلات حثية جسيمة. ونعثر على الحث القديم الأحمر الصرف عند حافة القارة الكبرى لشمال الأطلنطي (برنسويك الجديدة، مع وحيشات من أسماك مدرعة تذكرنا بمثيلاتها في أوروبا (قارة الحث الأحمر القديم).

٢

الفصل الثاني

طرق حفر الآبار

الفصل الثاني

طرق حفر الآبار

توجد طرق مختلفة لحفر الآبارنظراً للتفاوت في الطبيعة الجيولوجية للتربة ما بين الصخور الصلبة مثل الجرانيت والدولوميت إلى الرواسب غير المتماسكة مثل الرمال والزلط والطمى. في كثير من الحالات يكون استخدام طريقة معينة هو السائد في أماكن محددة نظراً لقدرتها على اختراق الخزان الجوفي وبذلك تحقق وفراً في التكاليف. وفي حالات أخرى تتغير طريقة الحفر طبقاً لعمق وقطر البئر ونوع التربة المخترقة والاشتراطات الصحية والاستخدام الرئيسى للبئر. ولهذا فإنه لا توجد طريقة مفضلة لكل الظروف الجيولوجية. الحفر الناجح هو فن ناتج عن الخبرة الطويلة والاستخدام السليم للأداء الهندسي.

تشمل إنشاءات البئر 4-5 عمليات وهي الحفر، وضع المصفاة، وضع المصفاة والظهير الزلطى وعند الحاجة وضع التحشية الأسمنتية (Grouting) لتوفير الحماية الصحية، بالإضافة إلى تنمية البئر لتأكيد الخلو من الرمال عند أقصى إنتاج. يمكن تنفيد 2-3 من هذه العمليات في نفس الوقت طبقاً لطريقة الحفر المستخدمة. فمثلاً عند الحفر في التربة غير المتماسكة بطريقة الحفر خلال دافع القيسون (Drill Through Casing Driver)، فإن القيسون يركب مع تقدم الحفر. أما عندما يكون الدفع للمصفاة تنفذ ثلاث عمليات سوياً، فتح الحفر، إنشاء القيسون ومصفاة البئر.

طرق وأساليب الإنشاء متعددة. الحدود العملية لمعظم طرق الحفر تتوقف على الظروف الجيولوجية. سيتم الإشارة إلى بعض طرق الحفر.

طريقة الحفر بالكابل (Cable Drilling Method):

تعتبر طريقة الحفر بالكابل هي أقدم طريقة لحفر الآبار ابتكرها الصينيون منذ أكثر من **4000** سنة حيث استخدم الكابل والدق (**Percussion**) حيث أمكن حفر بئر لعمق **615** متراً واستغرق الإنشاء عقدين أو ثلاثة. تسمى ماكينة الحفر بالكابل تجهيزة النقر أو الدق (**Percussion Rigs**) وتعمل بتكرار الرفع والخفض الكابل الثقيل لآلة الحفر في ثقب الحفر شكل (1-5) قطعة الحفر تفتت الصخور الصلبة كما تعمل على تفتيت التربة غير المتماسكة. وفي كلا الحالتين عملية النقر الترددية تعمل على خلط مواد التربة المفككة بالماء مكوناً روبة (**Slurry**) في قاع الحفر. وفي حالة عدم وجود ماء في التربة الجاري اختراقها يضاف الماء ليكون الروبة تراكم الروبة يزداد مع زيادة الحفر وكذلك خفض الارتطام لأدوات الحفر. عندما يكون معدل الحفر غير مناسب تزال الروبة على فترات من الحفر بواسطة طلمبة أو بالنزح (**Sand Pump or Bailer**) شكل (1-5)

معدة كابل الحفر الكاملة تتكون من خمسة مكونات:

- لقمة الحفر Drill Bit.
- عامود الحفر Drill Stem.
- أزرع ومجرى تحرير قطعة الحفر Drilling Jars.
- قطعة دوارة على قاعدة ثابتة Swivel Socket.
- الكابل Cable.

لقمة الحفر لمعدة كابل الحفر عادة ضخمة وثقيلة ليمكنها تفتيت وخلط كل مواد التربة. عامود الرفع يضيف ثقلاً إلى لقمة الحفر وطوله يساعد على استمرار استقامة الحفر عند الحفر في صخور صلبة. تتكون أزرع ومجرى تحرير لقمة الحفر (**Drillign Jars**) من عامودين صلب معالج منفصلين. عند ارتطام لقمة الحفر فإنها يمكن أن تتحرر معظم الوقت بانزلاق أزرع التحرير لقمة الحفر لأعلى حيث إنها حرة الحركة، مشوار أزرع الانزلاق للقمة الحفر 9 إلى 18 بوصة. قطعة

الدوران على القاعدة الثابة (Swived Socket) توصــل منظمـة الحفـر بالكـابل، بالإضافة إلى أنـها تضيـف بوزنـها إلى طاقـة الرفـع لـلأزرع عندمـا يكـون ذلـك ضرورياً. وهي كذلك تنقل دوران الكابل إلى الأجزاء وإلى لقمة الحفـر بمـا يمكـن من تكسير لصخر جديد مع كــل مشـوار لأسـفل وبذلـك يتحقـق حفـر دائـري ومستقيم. مكونات الأجزاء مقلوظة مع بعضها.

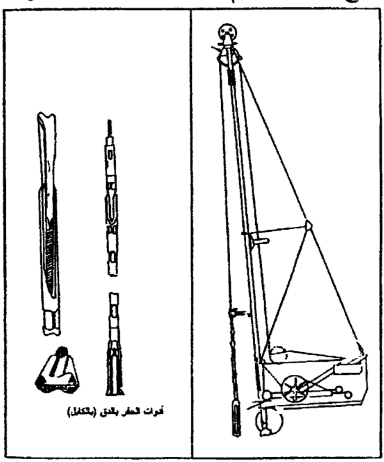
سلك الكابل الذي يحصل ويعمل على دوران أجزاء الحفر يسمى خط الحفر.

وهو بقطر $\frac{5}{8}$ إلى 1 (بوصة) وهو يلف وصلـة الأجـزاء عنـد كـل مشـوار لأعلى بما يمنعها من التفكك. خط الحفــر ملفـوف علـى بكـرة (لهـا حلزونـى في الدوران الكامل) أعلا الصارى وأسفل صارى الحفر (Spudding Sheane) إلى صارى القاعدة، ثم إلى خط التشـغيل لقـاعدة الدفـع شـكل (1-5) بكـرة الرفـع مجهزة بفاصل على أسطوانة البكــرة ليكـون خـط التشـغيل علـى جـانب وخـط الاحتياط على جانب. دلو النزح يستخدم لإزالة الروبة أو الصخور يتكــون مـن ماسورة مجهزة بمحبس عدم رجوع عند القاع (محبــس قـدم). دلـو الـنزح متصـل بكابل يسمى خط الرمال. وقد تستخدم طلمبة الرمال أو دلو السحب (Suction Bailer). الدلو مجهز بمكبس حيث الدفـع العلـوى للمكبـس يعمـل علـى إيجـاد تفريغ الذي يفتح المحبس وامتصاص الرمال والروبة على الماسوة. معظم طلمبات سحب الرمال بطول 3 إلى 6.1 متر.

خصائص الحفر لأعلى ولأسفل لماكينة الكـابل يرجـع إلى الكـرة المتحركـة ترتكز على محور من جانب والجانب الخراجي يتحرك لأعلى ولأسـفل بـذراع أو بذراعين توصيل متصل بعامود إدارة. وضبط المشوار الرأسي وعــدد المشـاوير في الدقيقة يمكن ضبطه بتجهيزات خاصة.

يوجد خط كابل لدفع القيسون والمصفاة والطلمبة....الخ.

ماكينة كابل الحفر لها حدود بالنسبة لعمق الحفر وقطر الحفـر. فمثلاً بالنسبة للقطر الصغير يمكن أن يزداد العمـق. يمكـن منـع احتكـاك القيسـون أثنـاء الإنـزال باستخدام سائل الحفر خارج القيسون أثناء الحفر. عند حفر الآبار فإن ماكينة الكابل يمكنها الحفر لعمق من 300 قدم إلى 5000 قـدم (91.5 مـتر – 1520 مـتر). في حالـة الحفر في تربة متماسكة لاستخدام القيسونات في كـل أو في أجـزاء مـن الحفـر. وفي بعض الحالات يتناقص قطر القيسون وكذلك قد يتنـاقص قطـر المصفـاة مـع زيـادة العمق وطبقاً لنوع التربة، عندئذ يتم إنزال القيسون أو المصفاة بالطريقة التلسكوبية.



شكل (1-5) ماكينة الحفر بالكابل ومكوناتها

الحفر الدوار المباشر (الحفر المحوري) Direct Rotary Drilling:

استخدمت طريقة الحفر المحورى لزيادة سرعة الحفر وزيادة عمق الحفـر في معظم أنواع التربة شكل بحفر البئر بواسطة أداة القطع الـدوارة (Rotating bit)

وتزال تربة القطع باستمرار بتدوير سائل الحفر مع اختراق أداة القطع الدوارة للتربة أداة القطع متصلة بالنهاية السفلى لماسورة الحفر، والتي تنقل الحركة الدورانية من الآلات إلى أداة القطع. في طريقة الحفر المحورى المباشر يتم ضخ سائل الحفر خلال ماسورة الحفر ثم يتدفق السائل إلى أعلى في المسافة بين الحفر وماسورة الحفر حاملاً معه ناتج الحفر عالقاً بسائل الحفر إلى حفرة تجميع سائل الحفر وتدويره بعد ترسيب ناتج الحفر في حفرة مستطيلة. ثم يعاد ضخ سائل الحفر من نهاية حفرة الترسيب أو من حفرة ترسيب ثانية وقد تستخدم أحواض تجميع في حالة الآبار الضحلة.

قبل عام **1920** نوع الحفر الدوار الذي يستخدم كان يستخدم القيسون نفسه كماسورة حفر وكانت هذه العملية تسمى الدوار (**Whirler**). وكانت النهاية السفلى للقيسون مزودة بنهاية قطع ذات قطر أكبر قليلاً من قطر القيسون. نهاية القطع تعمل على قطع وتفتيت التربة مع دوران الماسورة. استخدام الماء المضغوط داخل الماسورة لرفع نواتج الحفر إلى السطح. وكانت تستخدم الطفلة والطمى من الموارد المحلية لقفل الفتحات في جدار الحفر ولاستمرار التدوير. كانت هذه الطريقة مناسبة لحفر الآبار الصغيرة والضحلة حيث التربة خالية من الكتل الصخرية.

في آبار المياه يستخدم الحفر الدوار نوعين من لقم الحفر وهما الجرافة (**Dragbit**) (زيل السمكة) وتستخدم في التربة غير المتماسكة والشبة متماسكة أو قطعة الحفر التي تستخدم في التربة غير المتماسكة والشبه متماسكة أو قطعة الحفر التي تستخدم في التربة المتماسكة فهي الدوارة أو القمعية. تصنع لقم الحفر الدوارة إما من أسنان من الصلب من أشكال مختلفة وفواصل مختلفة وأطوال مختلفة ليمكن لكل سنة تشكيل ضغط على نقطة مختلفة من قاع الحفر مع دوارن لقمة القطع. أسنان الأقماع القريبة من بعضها متداخلة بما يمكن من النظافة الذاتية. الأسنان الطويلة وذات فواصل كبيرة تستخدم في التربة الطفلية اللينة أما الأسنان القصيرة المتلاصقة تستخدم للتربة الصلبة مثل الدولوميت والجرانيت والبازلت....الخ.

لقمة الحفر ثلاثة الأقماع (Tricone bit) تستخدم في كل أنواع التربة. كما توجد أشكال أخرى من لقم الحفر. سطح القطع للقمة الحفر تسلط عليه نافورة من سائل الحفر والذي يعمل على التبريد والتنظيف من نواتج الحفر وفي التكسير وهذا السائل يسلط على لقمة الحفر من داخلها.

يستخدم موسع (Reamer) لتوفير الاستقامة والنظافة والتوسيع لقطر الحفر، وهذه عبارة عن مقطع من ماسورة الحفر بطول 3 إلى 6.1 متر ذات سطح مقوى من أعصاب (rib) راسية مقساة أو من فلنجات ملحومة على مقطع قصير من ماسورة الحفر ما بين لقمة الحفر والمثبت (Stabilizer).

لقمة الحفر تكون متصلة بالنهاية السفلى لماسورة الحفر والتي تمثل عامود إدارة أسطواني طويل. سلسلة الحفر تتكون عادة من أربع أجزاء وهي لقمة الحفر قفيز حفر أو أكثر والذي يسمى المثبت (Stabilizer) وأطوال من ماسورة الحفر، ماكينة تشغيل على قاعدة ومجموعة حركة التشغيل بالدوران والخفض والرفع لماسورة الحفر وتسمى كيلى (Kelly) شكل(2/ 5) والتي تكون ذات مقطع سداسي أو مربع أو حلزوني.

وميزة الحفر بالدوان المباشر هي سرعة الاختراق في جميع أنواع التربة بالإضافة إلى أقل كم من القيسونات أثناء عملية الحفر وكذلك سهولة إنزال المصفاة كجزء من إنشاءات القيسون ولكن التشغيل يحتاج إلى مهارة فائقة وخبرة بالإضافة إلى التكلفة العالية للحفر بهذه الطريقة.

سوائل الحفر:

تنظيم استخدام سوائل الحفر أساسي لتوفير كفاءة الحفر الدوار. يلزم توافر تجانس بين قطر الحفر، قطر ماسورة الحفر، نوع لقمة الحفر، امكانيات الضخ، خصائص سائل الحفر طبقاً للظروف الجيولوجية في موقع الحفر. سوائل الحفر تشمل الهواء والماء النقي ومخلوط من مواد أخرى. استخدام سوائل الحفر يحقق الآتي:

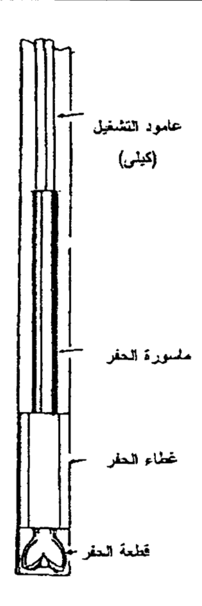
- رفع ناتج الحفر من قاع الحفر إلى السطح حيث حفرة الترسيب المستطيلة.

- تثبيت وسند حائط الحفر ومنعه من الانهيار (Caving).
- دهان حائط الحفر لخفض الفقر في السائل.
- تبريد وتنظيف لقمة الحفر.
- يوفر الترسيب لنتائج الحفر في حفرة الترسيب.
- تشحيم لقمة الحفر، كراسي التحميل، طلمبة الطفلة، ماسورة الحفر.

تعتمد لزوجة السائل وقدرته على حمل ناتج الحفر على عدة عوامل بحيث تكون سرعة ارتفاع السائل في الحفر من 30 إلى 45 متراً في الدقيقة. تزداد قدرة سائل الحفر على حمل الحفر كلما زادت اللزوجة وزادت السرعة.

سائل الحفر يمنع انهيار قطر الحفر بسبب الضغط على السطح الخارجي لقطر الحفر. طالما ان الضغط الهيدروستاتيكى للسائل يزيد عن ضغط التربة فإن قطر الحفر يظل مفتوحاً. الضغط عند اي عمق يساوي وزن عامود سائل الحفر فوق هذه النقطة.

في التربة الغنية بالطفلة يمكن بدء الحفر باستخدام المياه النقية الذي يختلط بسرعة مع الطفلة الطبيعية في فتحة الحفر مكوناً طبقة رقيقة من الطفلة. والماء النقي يستخدم في هذه الحالة في الجزء العلوى من قطر الحفر ولعمق حتى 30 إلى 90 متراً. وللمحافظة على الضغط الهيدروستاتيكي واللزوجة المناسبة تتم إضافات إلى سائل الحفر من طفلة ذات نوعية جيدة أو بلمرات مخلقة. بعد تمام الخلط لسائل الحفر وتمام تميؤه (Hydration) يتم تدويره في قطر الحفر باستخدام مضخة الروبة (Mud pump). يتم اختيار طاقة الطلبمة بما يحافظ على ثبات سرعة السائل لأعلى وتستخدم لذلك مضخة طرد مركزى أو مضخة الكباس (Piston pump).



شكل (2-5) عامود الحفر الدواد

الحفر العكسى بالهواء Inverse drilling:

تعتبر هذه الطريقة تحديثاً لطريقة الدوران المباشر ذات الحركة العلوية حيث يضاف الهواء خلال استخدام ماسورة 6 بوصات داخلية وماسورة تخريم بقطر $5\frac{7}{8}$ بوصة بها قناة لمرور الهواء. هذه المعدة تسمح بيشق الهواء المضغوط إلى القنوات الهوائية خارج ماسورة التخريم ثم إلى سائل التخريم مع تحركه إلى أعلى داخل

ماسورة التخريم شكل (3-5). وبهذا فإن سائل التخريم وناتج الحفر يتم رفعهم إلى السطح بمساعدة الهواء داخل الماسورة الدليل 6 بوصات (ماسورة التخريم).

باستخدام هذه الطريقة يمكن زيادة طاقة التخريم في حفر آبار ذات قطر كبير. حيث يمكن عمل قطر حفر حتى 20 إلى 30 بوصة بطريقة روتينية كما يمكن عمل عمق حفر أكبر من 30 إلى 60 متر في التربة غير المتماسكة. الأقطار أقل من 12 بوصة لا يوصى بحفرها نظرا لأن القطر الخارجي لماسورة الحفر هو 9 بوصات.

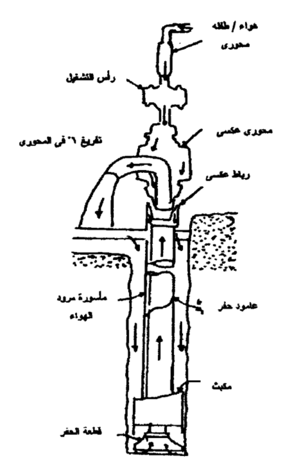
ضغط الهواء المستخدم هو 125 رطلا على البوصة المربعة بمعدل 0.1 مترا مكعب في الثانية. عند هذا الضغط يكون اقصى عمق لعامود الحفر هو 76.2 مترا وفي حالة زيادة العمق يتم تجهيز ماسورة الحفر ذات القنوات الهوائية فوق ماسورة الحفر التقليدية حتى اي عمق أكبر من 76 مترا. تستخدم في هذه الطريقة طلمبة الطرد المركزي طلمبة المكبس (Piston Pump) ذات قطر وطول المشوار 4×3 أو 5×6.

مميزات طريقة الحفر العكسي بالهواء هو امكان الحفر بأقطار كبيرة والسرعة العالية للاختراق في التربة غير المتماسكة واستخدام سائل الحفر لرفع ناتج الحفر وزمن التنمية قليل أما سلبياتها فهي زيادة التكاليف وزمن الحفر كبير في حالة الآبار العميقة.

الحفر بالبثق (التدفق) Jet Drilling:

توجد طريقتان لإنشاء الآبار باستخدام تيار ماء عالي السرعة في خطة الحفر. أحد هذه الطرق هو بنظام النقر ببثق تيار ماء (Jet Percussion System) للفحر حيث إنه يمكن استخدامها لحفر أقطار محدودة من 3-4 بوصات ولعمق حتى 61 مترا. أما الآبار ذات الأقطار الكبيرة ولعمق أكبر من 61 مترا تستخدم لها طرق أخرى.

أدوات الحفر في نظام النقر ببثق تيار الماء تتكون من قطة حفر في شكل أزميل (Chisel) مثبتة في الجزء السفلى لماسورة الحفر. الثقوب على اجناب قطة الحفر تعمل كنافورة لضغط المياه (بثق) والذي يحافظ على نظافة قطعة الحفر وفي الوقت نفسه العمل على تفكك التربة الجارى حفرها. تضخ المياه تحت ضغط متوسط إلى مرتفع خلال ماسورة الحفر إلى خارج لقمة الحفر. ماء الحفر عندئذ يتدفق إلى أعلى في الفراغ المحيط بماسورة الحفر، حاملاً معه ناتج الحفر في شكل مواد عالقة إلى سطح الأرض حيث يتدفق في حفرة ترسيب أو أكثر لترسيب المواد العالقة. يتم سحب المياه مرة أخرى بواسطة طلمبة سحب (Suction) وتدويرها خلال ماسورة الحفر. نظام دورة السائل يشبه الحفر المباشر بالدوران. مع استمرار تدوير المياه فإن قطعة الحفر والقضبان ترفع وتسقط مثل حالة الحفر بالكابل ولكن المشوار أقل. القيسون المجهز بقدمه دفع يسقط مع تقدم الحفر. يتم استخدام إضافات لسائل الحفر. تستخدم هذه الطريقة لحفر الآبار ذات الأقطار الصغيرة في التربة الحاملة الرملية وكذلك التربة شبه المتماسكة وكذلك المتماسكة إلى حد ما.



شكل (3-5) الحفر العكسى بالهواء

نوع آخر من الحفر باستخدام مواسير ذات قطر صغير مستقد له قاع مفتوح ليمكن غوصه في الرمال باستخدام غسيل المياه من دون أى وسيلة حفر.

وهناك طرق أخرى كثيرة لحفر الآبار ولكن الشائع منها في مصر هي الطرق الآتية:

1. الطريقة اليدوية:

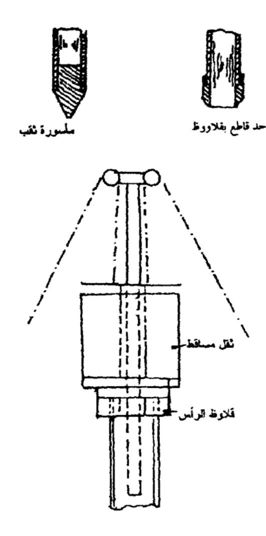
وهذه الطريقة هي الشائعة في مصر وتستعمل في حفر الآبار التي لا يزيد قطرها عن 8 بوصات إلى عمق حوالي 80 متراً من سطح الأرض في هذه الطريقة تستخدم طريقة القيسونات المتداخلة على أن يكون قطر القيسون الأخير أكبر من قطر الحفر بما لا يقل عن 6 بوصات وذلك لإمكان تنفيذ الغلاف الزلطى قبل

رفع القيسون. يتم خفض قطر القيسون بحوالي بوصتين بعد كل حفر بعمق 30-40 متراً شكل (4-5)

تستخدم في الحفر البريمة القلاووظ في حفر التربة الطينية المتماسكة والبلف في حفر التربة الرملية وهذا البلف يسمح بدخول ناتج الحفر إلى داخله ولا يسمح بخروجه.

ويستعمل وصلة التكسير في تفتيت التربة الصلبة التي تعيق استمرار الحفر. بعد امتلاء البريمة أو البلف بناتج الحفر ترفع إلى خارج قطر الحفر لتفريغها ثم يعاد إنزالها بعد زيادة طولها بخط المواسير لاستمرار وزيادة عمق الحفر. بعد الوصول إلى العمق المطلوب يتم إنزال مواسير البئر داخل قطر الحفر وذلك عند سحب قيسون الحفر تدريجياً إلى أعلى. يملأ الفراغ الخارجي بين جدار الحفر ومواسير السحب للبئر والمصافى وذلك بالزلط الفينو حول المصافى تعلوه طبقة من الرمل النظيف الخشن بطول 1 متر تعلوها طبقة من المونة الأسمنتية حول السطح الخارجي لماسورة السحب للبئر وذلك لمنع وصول الملوثات من المياه السطحية إلى المياه الجوفية.

وعادة لا يزيد معدل الحفر اليومي بالطريقة اليدوية عن عشرة أمتار وهذا من أهم عيوب هذه الطريقة.



شكل (4-5) آبار المواسير

2. طريقة الحفر بالدق:

تستخدم هذه الطريقة في حفر الآبار التي يتراوح قطرها بين 8 إلى 15 بوصة والتي يصل عمقها حتى 100 متر ويستعان فيها بآلات البكر والقص والونش. وهذه الطريقة تشبه طريقة الحفر اليدوية من حيث القيسونات حيث يستعمل بلف يناسب القطر الخارجي للقيسون المستخدم وقاعه من خوص الصلب المتعامدة وذات حافة حادة تستطيع بمعاونة ثقلها أن تخترق الطبقة الطينية وتفتتها وتحولها إلى روبة والتي ترفع ببلف آخر لعدم الرجوع (حيث تدخل الروبة ولا تخرج) ثم يستكمل العمل بنفس الطريقة المتبعة في الحفر اليدوي.

تغويص الآبار

ويشمل الآبار ذات الأقطار الكبيرة والآبار ذات المواسير.

الآبار ذات الأقطار الكبيرة:

تنشأ الآبار ذات الأقطار الكبيرة (Dug Wells) بالحفر وإخراج الناتج، وتبطن غالباً إما بمباني من الطوب أو بحديد الزهر أو الفخار المزجج وذلك لمسافة حتى 3 أمتار تحت سطح الماء. وعند تبطينها بالطوب يراعى ألا يقل السمك عن طوبة واحدة وبمونة قوية من الأسمنت، ويكون الطوب بطبقات طولية وعرضية بالتبادل.

تغويص الآبار ذات الأقطار الكبيرة:

وهي الطريقة الأكثر استعمالاً في تغويص الآبار حيث يتم حفر جزء من الأرض أولاً بمساحة البئر وتوضع داخل خنزيرة مستديرة من الخشب القوى، أو الحديد أو الصلب بالمقاس والسمك اللازم للبطانة. ولها حافة رأسية بالداير الخراجي وأحياناً يتم عمل الخنزيرة من الخرسانة المسلحة والحديد بدلاً من الخشب وتكون ذات حد قاطع ويتم تسويتها أفقياً بعناية ثم توضع المباني من الطوب فوقها حتى تصل بها إلى السطح. يراعى وضع الطوب في طبقات أفقية ليمكن التحميل المنتظم للخنزيرة وذلك مع بياض حوائط البئر من الخارج لتقليل الاحتكاك عند التغويص يستمر البناء إلى أن يصل إلى عدة أقدام فوق سطح الأرض ثم يحفر داخل البئر إلى عمق يتراوح ما بين 2-3 أقدام بكامل المساحة الداخلية للبطانة، حيث تصبح الأخيرة محملة بالاحتكاك على الجوانب وعلى الأرض التي تحتها، يراعى إزالة التربة تحت الخنزيرة بعناية حتى تنزل الخنزيرة وما فوقها من مباني إلى مستوى الحفر. أثناء ذلك يتم البناء بالطوب الذي يساعد بثقله على إنزال الخنزيرة والمباني إلى أسفل. يجب العناية بإجراء هذا التغويص بانتظام حتى يسهل إنزال البئر رأسياً، كما يجب الحفر على طبقات قليلة العمق. في حالة انهيار جوانب الحفر أثناء التغويص عندئذ يتم ملء الفراغات السفلى

التي قد توجد حول المبانى بالخرسانة مع دكها جيداً وذلك عند الانتهاء من عملية التغويص. قد تكـون المبـانى مـن الخرسـانة المسـلحة وتربـط الخنزيرة في المبـانى الطوب بجوابط رأسية عبارة عن أسـياخ تسـليح قطـر 2/ 1 أو 4/ 3 بوصـة علـى مسافة حوالي المتر من بعضها في داير البئر، وطول الأسياخ 5 أمتار تربـط بمدمـاك كامل من الخرسانة سمكه حــوالي 0.15 إلى 0.2 مـتر، ومنـه تبـدأ أسـياخ رأسـية أخرى مشابهة لسابقتها بين مداميك الطوب. وقد تستعمل مواسير حديدية بـدلاً من المبانى الطوب وتكون بأطوال 6 أقدام، يتصل بعضها ببعض بأطواق داخليـة ومسامير مقلوظة. بذلك يبقى السطح الخارجي أملس بما يسمح بـالإنزال خـلال التربة. يكون لهذه المواسير نهاية سفلية حادة ليسهل اختراقها للتربة. في حالة عدم هبوط الماسورة يتم تحميلها بوضع طبلية على أربع كمرات طولية من مقاس كبير وثمانية عرضية لتوزيع حمل الطبلية ثم تحمل الطبلية بأكياس الرمل لتغويص البئر أثناء الحفر داخلا.

أحياناً توضع فتحات جانبية في داير البئر في المبـانى السـفلى بطـول 10 أو 15 متراً (Pigeon Holes) تكون مفتوحة النصف طوبة الخارجية والتي تسـتمر في جميع المحيط الخارجي. تبنى النصف طوبة الخارجية بمونة أسمنتيـة خفيفـة تسـاعد على مرور المياه في العراميس حول البئر لتصل إلى الفتحـات الموصلـة إلى داخـل البئر وفي هذه الحالة لا يقل سمك عــن طوبتـين أو طوبـة ونصـف يلاحـظ سـد الفتحات من الداخل بقطع خشبية ملفوفة بقلفاط مقطرن يزال بعد الانتـهاء مـن تغويص البئر وإتمام العمل.

ولزيادة التصرف توضع مصافى أفقية عددها حوالي 12 قطراً كل منها 3–4 بوصات في داير البئر ومن أسفله لمسافات مناسبة لزيادة إيراد البئر. في هذه الحالة يجب ألا يقل قطر البـئر عـن 4 أمتـار لإمكـان اسـتخدام جـهاز ضغـط المواسـير والمعروف باسم (Ramney). ويكون القــاع أصـم اعتـماداً علـى المـدادات ذات المصافى. يبلغ إيراد الماء اليومي من بئر بقطر 4 أمتار حوالى 90 ألف متر مكعـب.

بعد إتمام نظافة البئر توضع بداخله فرشة زلطية (زلط فينو) لتحافظ على عدم نزح الأرضية مع المياه وعدم حدوث تصدعات للبئر.

الآبار ذات المواسير:

الآبار ذات المواسير تنشأ عادة بدق مواسير حديدية رأسياً من سطح الأرض، وتستعمل أدوات تخريم خاصة مع إخراج الناتج إلى السطح تغوص هذه الآبار إذا كانت بقطر صغير بالطاقة الناتجة عن سقوط ثقل من المواسير الموصلة رأسياً شكل (4-5) والتي إما أن تكون ذات نهاية صماء مدببة الطرف في حالة المواسير ذات الأقطار 3 بوصات فأقل أو ذات قاطع مستدير ومجوف. وفي كلتا الحالتين الجزء الأسفل من المواسير على ثقوب عديدة لإدخال الماء من الطبقة الحاملة. يجرى تغويص المواسير في الأرض بسقوط ثقل يرفع على حامل ثم يسقط على رأس الماسورة (المقلوظة) والتي في نهايتها العلوية طاقية لوقايتها من تأثير الدق. تستخدم مواسير من الصلب بوصلات مقلوظة بأطوال من 6 أقدام وقطر 4 بوصات عادة. يتم إنزال الماسورة أولاً بالدق ثم تزال المواد من داخلها إلى المواسير ذات الأقطار أكبر من 2 بوصتين بواسطة أدوات خاصة بذلك والتي تصل بقضبان مربعة من 1-2 بوصتين بواسطة القلاووظ وكذلك تستخدم هذه الأدوات لأقطار المواسير أكبر من ذلك. وبإزالة المواد من داخل الماسورة يمكن أخذ عينات من التربة وعينات من المياه على أعماق مختلفة ويكون لكل بئر سجل خاص (Well Log). تكرر عملية الدق بعد تنظيف المواسير من الداخل. عند مصادفة المواسير ذات الطرف السلفى المدبب عند نزولها لتربة صلبة، عندئذ يتم سحب الماسورة للخارج وإعادة دقها مع تكرار ذلك حتى يمكن تكسير الجزء الصلب وإنزال الماسورة في حالة الماسورة ذات الحرف السفلى القاطع الأجوف يتم تكسير الأرض الصلبة بإنزال أدوات تكسير الصخر داخل الماسورة. تجهز أدوات التنظيف في حالة التعامل مع الأراض المبتلة بصمامات قدم (FootValve) لمنع سقوط الأتربة منها عند رفعها لأعلى.

وتستخدم آلات على عربات متحركة مجهزة بصارى الذي يطوى أثناء سير العربة، وفي موقع العمل يرفع لتعليق البكرة والحبال الخاصة بدق البئر والتي تصنع من أسلاك الصلب المجدول والذي يساعد على دوران الحبل دورة خفيفة في كل دقة بما يعمل على انحراف قطعة التكسير انحرافاً بسيطاً في نفس الاتجاه بما يعمل على انتظام الحفر والتكسير.

يجب أن يكون الدليل رأسياً تماماً والذي هو عبارة عن ماسورة قيسون تستعمل دليلاً لخط الحفر المدلى من صارى الماكينة.

ويبدأ تشغيل خط الحفر مع تغيير معدل الضربات في الدقيقة وطول المشوار الذي يصله في كل ضربة وذلك بالتحكم في الذراع المتحرك لآلة الحفر. يتراوح عدد الضربات ما بين 25، 65 في الدقيقة الواحدة تبعاً لنوع الطبقة التي يعمل فيها الكاسور. تستعمل عملية الدق وإطالة حبل الحفر ثم إزالة المواد المفتتة وهكذا إلى أن يصل البئر إلى العمق المطلوب.

الآبار ذات القيسون:

يستعمل القيسون لتغويص الآبار وهو عبارة عن مواسير من الصلب بطول 3-5 أمتار ولها وصلات عبارة عن صلب مقلوظة وتكون بقطر يزد 4 بوصات عن القطر الخارجي لماسورة السحب. يتم تغويص القيسون رأسياً بطريقة التحميل والحفر داخله بأدوات حفر أو بطريقة الدق على طاقية خشبية تركب على المواسير أثناء الدق والحفر داخلها.

يتم إنزال القيسون بطريقة شائعة الاستعمال لبساطتها وهي أن يتم عمل حفرة 2 × 3 أمتار وبعمق 2-3 أمتار طبقاً لما يسمح به عمق مياه الرشح والطبقة الصلبة التي تتحمل الدكم والكمرات الحديدية وتثبيتها وتركيب القلاووظ قطر 2 بوصتين (الفتيل) وبواسطة الجلب والصواميل يمكن الضغط على القيسون للتغويص حتى 40-90 طناً.

وكذا يمكن عكس الاتجاه للفتيل للرفع وذلك للضغط على الدكم العلوية لرفع القيسون وللحفر داخل القيسون بواسطة إنزال البلف (Shell). البلف قطعة أسطوانية حافتها السفلى لولبية حادة وعند إنزالها تغرز في التربة حيث تدخل داخلها المواد الطينية أو الرملية، وبتكرار هذه العملية تمتلئ الأسطوانة ثم ترفع لتنظيفها وتكرر العملية حتى يصل الجزء المحفور إلى منسوب حوالي 50 سم تحت منسوب أسفل القيسون، عندئذ يضغط على القيسون بالفتيل القلاووظ ثم يتم تكرار هذه العملية حتى يصل القيسون إلى العمق المطلوب.

ويراعى أخذ عينات من التربة أو الماء أثناء التغويص وذلك عند عمق كل متر أو عند التغير في التربة أو عند العثور على طبقة صخرية يستعمل الكاسور (Cross Chisel) للتكسير ثم تزال المواد بالبلف.

وتستعمل أحياناً طريقة التحميل بأكياس الرمل لمساعدة القلاووظ في ضغط القيسون. قبل رفع القيسون يتم إنزال المصفاة ثم ماسورة السحب (غير المثقبة) ثم يتم البدء في رفع القيسون بالرفع بضغط القلاووظ (عفريتة). يتم ملء الفراغ حول المصفاة بالظهير الزلطى النظيف والمعقم. يلي ذلك إنزال طبقة من الطين الأسوانلى لمنع مرور المياه السطحية إلى الظهير الزلطى. ومع سحب القيسون يملأ الفراغ حول ماسورة السحب بالمونة الأسمنتية لمنع مرور المياه السطحية الملوثة.

واحيانا تستعمل المثاقب اللفافة وهي أسرع وأقل في التكاليف حيث تصل السرعة إلى 20-40 لفة في الدقيقة طبقا لنوع الصخر ولا يتجاوز الضغط على القاطع أكثر من 1/2 طن.

ولزيادة الإيراد من المياه من الآبار يتم إنشاؤها على خط عمودي على اتجاه سير المياه الجوفية.



الفصل الثالث

الصخور النارية

الفصل الثالث

الخصور النارية

الخصائص الطبيعية العامة للصخور النارية:

تتشكل الصخور النارية بخصائص طبيعيــة متعـددة، البعـض منـها يمكـن أن يساهم في عمليـات تمـيز الصخـور الناريـة عـن غيرهـا مـن المجموعـات الصخريـة الاخرى ويلاحظ انه من الصعب أن تتخذ خاصية واحدة كأساس لتقسيم الصخور النارية إلى مجموعات مختلفة بل يحسن أن يعتمد التقسيم على عدة خصائص طبيعيـة مجتمعة. وتتلخص الخصائص الطبيعية العامة للصخور النارية فيما يلي:

1. اللون:

تختلف الوان الصخور النارية من صخر إلى آخر. ومـن الصعـب أن يتخـذ اللون فقط كأساس لتصنيف الصخور النارية وتمييزها ذلـك لان هـذه الصخـور ذات الوان متعددة. فبعض الصخور النارية فاتحة اللـون Light – coloured. في حين هنـاك بعـض الصخـور الناريـة الاخـرى تتمـيز بألوانـها الداكنـة Dark – coloured وفيما بين هـاتين المجموعتـين نلاحـظ مجموعـة ثالثـة متوسـطة تختلـف ألوانها بين الالوان الرمادية والحمراء.

2. الثقل النوعى:

اذا فحصنا الصخور النارية من حيث اختلاف ثقلها النوعي يتبين ان بعضا منها يتميز بأن ثقله النوعى أكبر مـن غيرهـا. ويمكـن القـول بـأن الثقـل النوعـى للصخور النارية يتراوح من 2.3 – 3.3. ولكن أغلب مجموعات الصخور الناريـة يتراوح ثقلها النوعي من 2.2 – 2.7 في حين القليل مـن انـواع الصخـور الثقيلـة

الوزن في مجموعة الصخور النارية هي التي تتميز بالالوان الداكنة في حين تلك التي تتميز بقلة ثقلها النوعي يغلب عليها الالوان الفاتحة. ولكن لا تنطبق هذه القاعدة تماما على جميع انواع الصخور النارية وعلى سبيل المثال نجد أن صخر الزجاج الطبيعي (اوبسيديان obsidian) يتميز بلونه الداكن ومع ذلك لا يزيد الثقل النوعى لهذا الصخر البركانى عن 2.4 (شكل 1/أ) كما أن صخر الخفاف من الصخور النارية، ومع ذلك يطفو فوق سطح الماء لخفة ثقله النوعى، حيث يدخل في تكوينه نسبة عالية من الغازات التي تنحبس داخل فجوات هذا الصخر البركاني (شكل 1/ب)



شكل 1/أ صخر الزجاج الطبيعي - أوبسيديان - وهو يشبه أسطح الزجاج، ويتميز بلونه الداكن ومع ذلك فانه قليل الثقل النوعى. أما نسيجه فزجاجى، ومكسره محارى كمثل مكسر الكوارتز.

3. النسيج الصخرى Texture:

يقصد بالنسيج الصخري طبيعة حجم الجزيئات المسكونة للصخور وكيفية ترتيب هذه الجزيئات داخل الصخر. أو بمعنى آخر معرفة طبيعة شكل وحجم وترتيب وتوزيع المعادن المكونة للصخر.



شكل (1/ ب)

ومن نتائج الفحص الطبيعي لحبيات وجزئيات الصخور النارية يتبين ان بعضا منها يتكون من جزئيات ووحدات صغيرة وبعضها الآخر مكون من جزئيات مختلفة الحجم. ومن ثم فان هناك انواعا من الجزئيات الصخري صغيرة الحجم متجانسة إلى حد كبير في حين بعض الجزئيات الصخرية الاخرى غير متجانسة النسيج.

ويشبه بعض الصخور النارية المتجانسة الجزيئات صخر الزجاج الطبيعي وتنعكس الاشعة الضوئية على أسطحها ولذلك يعرف نسيجها باسم نسيج الاسطح الزجاجية Glassy Surfuce. في حين نجد أن اسطح البعض الآخر من هذه الصخور النارية المتجانسة الاجزاء معتمة وكأنها غطيت بطبقة قاتمة اللون ومن ثم يعرف نسيج الصخر باسم نسيج الاسطح المعتمة أو المتلبدة Matte surface.

أنواع النسيج الصخرى: تبعا لاختلاف حجم الحبيبات التي تتألف منها الصخور النارية وتنوع ترتيبها واختلاف المظهر الخارجي للصخر يمكن ان تميز الاشكال الآتية:

أ. نسيج خشن الحبيبات: Coarse - grained texture يطلق هذا التعبير على الصخر الذي يمكن ان ترى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة. وعندما ينظر الفاحص إلى قطعة من هذا الصخر باستخدام عدسة مكبرة يلاحظ أن كل بلورتين يتداخلان مع بعضهما Interlocking crystals. ويختلف حجم البلورة الواحدة في الصخر من $\frac{1}{16}$ من البوصة إلى عدة بوصات. ولكن يقصد الجيولوجي بتعبير النسيج الصخرى الخشن الحبيبات، الاشارة إلى الصخور التي تتألف من بلورات كبيرة وقد تكون متجانسة الحجم equigranular texture ويعد الجرانيت من اكثر الصخور النارية الخشنة الحبيبات شيوعا فوق سطح الارض. ومن ثم يطلق البعض على مثل هذا النسيج الصخرى تعبير النسيج الجرانيتي Granitiod texture. ويجب أن نضع في الاعتبار بأن مثل هذه البلورات الكبيرة الحجم الكاملة التبلور لا تتكون الا على أعماق بعيدة من سطح الأرض. وبحيث تتعرض موادها المنصهرة لبرودة تدريجية بطيئة تساعد البلورات على تكوينها بصور كاملة Holocrystailine.

ب. نسيج دقيق الحبيبات Fine - grained textuere: ويطلق هذا التعبير على الصخر الذي لا يمكن أن ترى حبيباته وبلوراته بالعين المجردة، بل ترى باستخدام الميكروسكوب. أي أن الصخر مجهرى البلورات Mictcrytslline وتتميز أسطح الصخور الدقيقة أو المجهرية الحبيبات بانها قاتمة متلبدة. ومن أهم العوامل التي لا تساعد على تكوين البلورات في الصخر بصورة كاملة تعرض مواد الصخر للبرودة الفجائية وبسرعة مما لا يعطى الوقت اللازم لاتمام عملية التبلور بصورتها البطيئة التدريجية.

جـ- نسيج زجاجى Glassy texture يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور العديمة البلورات noncrystalline، وتتميز أسطحها بشدة لمعانها ومن ثم تشبه الاسطح الزجاجية. وتختلف الوانها من الألوان الاحمر إلى

اللون الاسود ومن امثلتها الزجاج الطبيعى البركاني. ويتضح من شكل اسطح هذه الصخور ومظهرها الخارجي العام Structure بأنها انسابت على سطح الارض بعد انبثاقها وخروجها من باطن الأرض، ومن ثم تعرضت للبرودة الفجائية السريعة التي لم تعط الصخر فرصة من الوقت لتكوين بلوراته.

د. نسيج بورفيرى Prophyritic Texture: يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التي تتألف من بعض البلورات المعدنية الكبيرة الحجم نسبياً (تعرف باسم فينوكريست Phenocrysts) والمبعثرة في محيط أعظم من البلورات المعدنية الجهرية المكونة لمادة الصخر. ومعنى ذلك أن مواد الصخر تعرضت لفترة محدودة لعمليات البرودة التدريجية. فاذا كان الصخر شبه سطحى أي تكون بالقرب من سطح الأرض، ثم انبثق فوق سطح الأرض فقد يظهر الصخر بالنسيج البورفيرى حيث تكون بعض مواده نجحت في أن تكون بلورات في حين بعضها الآخر لم يكن قد تعرض بعد لعمليات التبلور.

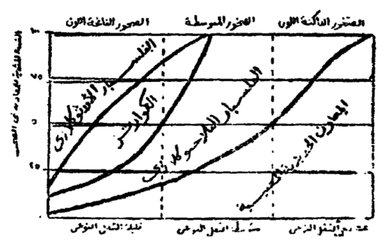


شكل (2) ثلاثة أشكال مختلفة للنسيج الصخرى البورفيرى يتضح فيها اختلاف حجم حبيبات الفينو كرست المتبلورة والمكونة هنا من الفلسبار والمبعثرة في مواد نارية غير متبلورة.

4. التركيب المعدنى للصخور النارية:

تساعد معرفة التركيب المعدني على تفسير اختلاف الوان الصخور ومعرفة الخصائص العامة لمجموعات الصخور النارية والى حد ما تميز بعضها عن البعض الآخر فعند فحص الصخور الجرانيتية الخشنة الحبيبات، الفاتحة اللون، يتضح انها تتألف من نسبة محدودة من المعادن الحديدية المغنيسية، يغلب بها تكوين معادن أخرى مثل الميكا والامفيبول والكوارتز والفلسبار والاورثوكلازى والبلاجيوكلازى وفي الصخور النارية الخشنة الحبيبات الداكنة اللون لا يتمثل فيها الكوارتز او الفلسبار الاورثوكلازى في حين يكثر فيها الفلسبار البلاجيوكلازى والمعادن الحديدية المغنيسيةوخاصة الاوجيت والاوليفين. وفي الصخور النارية الخشنة الحبيبات المتوسطة اللون تحتوى غالباً على قليل من الاورثوكلاز والكوارتز ونسبة مرتفعة من البلاجيوكلاز (بحيث يتركب بنسب متساوية من الالبيت والانورثيت) وكذلك بعض المعادن الحديدية المغنيسية وخاصة الهورنبلند والاوجيت.

ومن ثم يمكن القول بأن هناك تناسقا واضحاً بين الاختلاف المعدنى في الصخور وبين ألوانها العامة وثقلها النوعي وكثافتها النسبية. فتتميز المعادن الحديدية المغنيسية بارتفاع كثافتها وبعظم ثقلها وبألوانها الداكنة، في حي تتميز معادن الفلسبار الاورثوكلازى بقلة كثافتها ووزنها وبألوانها الفاتحة. وتحتل مجموعة معادن الفلسبار البلاجيوكلازى مركز 1 متوسط. (شكل 3)



شكل (3) تصنيف الصخور النارية حسب اختلاف أنواعها ومعادنها وثقلها

النوعى.

وهذا يلاحظ بأنه لا يمكن أن نحدد التركيب المعدنى للصخر بواسطة العين المجردة أو باستخدام العدسة اليدوية المكبرة. ولكن يتم ذلك بواسطة الفحص الميكروسكوبي بعد وضع عينات من الصخور النارية وسحقها والصاقها فوق الشرائح الزجاجية.

وحيث تتكون الصخور النارية في باطن الأرض وتتميز بشدة حرارتها وأنها تتألف أصلا من الماجما المنصهرة فانها لا تحتوى على أي حفريات. وحتى إذا سقطت كائنات ما في مواد الصخور النارية المنسابة على سطح الأرض، فسرعان ما تنصهر داخل مواد الصخور النارية ولا يتبقى لها أي رمز يدل على وجودها.

تكوين الصخور النارية ونشأتها:

تتكون الصخور النارية من الماجما المنصهرة Motlen magma داخل باطن الأرض، وعندما تندفع الماجما وتظهر فوق سطح الأرض كما هو الحال عن طريق البراكين فتعرف في هذه الحالة باسم اللافا Lava. وفي باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض قد تتعرض الماجما للبرودة التدريجية وتكون الصخور النارية بأشكال مختلفة من بينها العروق والسدود النارية، واللاكوليث، والفاكوليت، والباثوليت. أما فوق سطح الأرض فقد تكون اللافا أشكالاً متعددة من تكوينات الصخور النارية ومن بينها المخروطات البركانية والهضاب البركانية، والمفتتات الصخرية النارية Pyroclatic debris والبريشيا البركانية Volcanic braccia والغبار البركانى Volcanic bust.

وعلى ذلك يمكن القول بأن المصدر الرئيسي لمواد الصخور النارية هو مصهورات الماجما في باطن الأرض. ويعبر الأستاذ دون ليت Don Leet عن ذلك بقوله:

All igneous rocks were formed from the solidification of magma

ولكن تتشكل مجموعات الصخور النارية تبعا لطبيعة عمليات البرودة التي تعرضت لها مواد الماجما. ومن ثم ينبغى ان نشير في هذا المجال إلى عملية تبلور الصخور النارية.

عملية التبلور الصخرى Crystallization:

الماجا في باطن الأرض عبارة عن سائل منصهر من الايونات عند درجة حرارة مرتفعة جدا. وعندما تتعرض مواد الماجما المنصهرة لعمليات البرودة التدريجية تنكمش وتتقلص وتعطى الفرصة لتكوين الاجزاء المعدنية. وخلال فترات متعاقبة تكبر هذه الاجزاء من حيث الحجم وتؤدى في النهاية إلى تكوين البلورات المعدنية الكبيرة الحجم. وبتجميع البلورات مع بعضها وتداخلها فيما بينها تكون الصخور النارية. وعلى ذلك تختلف مجموعات الصخور النارية من مجموعة إلى أخرى تبعا لعاملين رئيسيين هما:

(أ) طبيعة التركيب الكيميائي والمعدني للماجما في باطن الأرض.

(ب) طبيعة عمليات البرودة التي تعرضت لها الماجما.

وعلى سبيل المثال نلاحظ أن بعض الماجما قد تكون غنية من حيث تكوينات الحديد والمغنسيوم، في حين يرتفع في بعضها الآخر نسبة السليكون والالومنيوم. وعندما تتعرض الماجما المؤلفة من المواد الحديدية المغنيسية لعمليات البرودة، فان الصخور النارية التي تنجم عن ذلك غالبا ما يرتفع فيها نسبة وجود المعادن الحديدية - المغنيسية.

في حين اذا تعرضت الماجما المؤلفة من السليكون والالومنيوم لعمليات البرودة فان الصخور النارية التي تنجم عن ذلك غالبا ما تكون من معادن الفلسبار والكوارتز. ولذلك من الصعب جدا ان تتشابه لافا بركانية بأخرى لبركان آخر بل قد لا تتشابه لافا البركان الواحد في فترة ما مع لافا منبثقة منه في فترة اخرى.

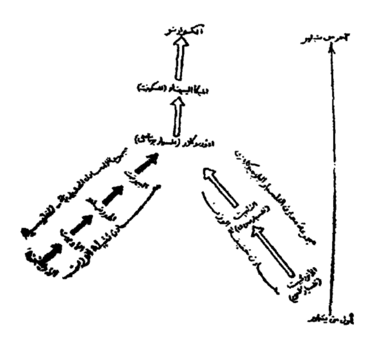
وتبلغ درجة حرارة اللافا الحديدية - المغنيسية في حالة انصهارها نحو 2000 ° ف (1100 °) في حين كانت درجة حرارة اللافا الغنية بالسليكون والتي انبثقت من فوهة بركان اتنا عام 1910 تتراوح من 1600 ° ف إلى 1830 ° ف (900 ° - 1000 °م)، وينصهر صخر الجرانيت عند هذه الحرارة العالية.

وقد تتألف الصخور النارية من تداخل بلورات معدن واحد مع بعضها بعضاً، أو من تداخل بلورات لمعادن سليكية مختلفة وخاصة الاوليفين والاوجيت والهونبلند والبيوتيت والانورثيت والالبيت والاورثوكلاز والمسكوفيت والكوارتز.

واكتشف العالم بوين N.L. Bowen 1922 قانون التفاعل الكيميائي ووجد ان السليكات تترتب في مجموعتين مختلفتين من التبلور. وتبين أن أي معدن في كل من هاتين المجموعتين المختلفتين مشتق من المعدن الذي تكون قبله داخل نطاق المجموعة وذلك نتيجة للتفاعلات الكيميائية. وتعرف هاتان المجموعتان من سلسلتى التفاعل الكيميائي لمعادن الصخور النارية باسم قانون بوين للتفاعل Bowen's Reaction Series.

وتعرف المجموعة الأولى من المعادن المتبلورة باسم مجموعة المعادن الحديدية المغنيسية الثقيلة الوزن. وأول ما يتبلور في هذه المجموعة معدن الاوليفين ثم يليه بعد ذلك الاوجيت والهونبلند والبيوتيت على الترتيب ثم الاورثوكلاز ويتبلور بعد ذلك كل من المسكوفيت والكوارتز.

وفي المجموعة الثانية والتي تتألف من معادن الفلسبار البلاجيوكلازى الخفيفة الوزن، يذكر بوين بأن الانورثيت هو أول معادن هذه المجموعة تعرضا للتبلور. ويتبلور هذا المعدن عند درجات حرارة تشابه تلك التي يتبلور عندها الاوليفين في مجموعة المعادن الحديدية - المغنيسية. ثم يتبلور بعد ذلك كل من الالبيت والفلسبار الاورثوكلازى والمسكوفيت والكوراتز على الترتيب (شكل 4).



(شكل 4) قانون التفاعل حسب دراسات بوين.

ومن ثم يتضح بأن هذه المعادن لا تتبلور من الماجما المنصهرة كلها على مرحلة واحدة، بل يتبلور كل معدن منها عند درجة حرارة معنية وتحت ظروف طبيعية وكيميائية خاصة تؤدى إلى تكوين المعدن وتبلوره وتميزه عن بقية مواد الماجما. ويتضح من دراسات بوين كذلك بأن كل المعادن التي تتكون من الماجما داخل باطن الأرض قد تتحول في نهاية الدورة وتؤدى إلى تكوين الكوارتز. ولكن بلا شك نادرا ما تتم المعادن عملية تبلورها بصورة كاملة. وهذا يفسر من ناحية اخرى أسباب تنوع التركيب المعدنى للصخور النارية. ومن أسباب عدم تكملة دورة التبلور تسرب بعض الغازات الطيارة Volatiles التي تساعد الماجما على سهولة تحركها وليونتها وامتزاج المعادن بعضها بالبعض الآخر حتى تتم عملية التفاعل الكيميائي.

وتختلف عمليات تبلور الصخر تبعا لطبيعة المواد التي تتألف منها الماجما من ناحية والعمق الذي تتبلور عنده الماجما وعمليات البرودة التدريجية والفجائية من ناحية اخرى. وقد تبين بأن الماجما عند ظهورها على سطح الأرض وبحيث تكون درجة حرارتها 2000 ° ف (1.100 °م)، تحتاج إلى ازمنة مختلفة لكى تتجمد

كتلتها، فاذا كان سمكها محدودا فتبرد في فترة قصيرة اما اذا كانت عظيمة السمك فتحتاج إلى زمن طويل لكى تتجمد أجزاء كتلتها. وقدر الاستاذ دالى Daly الزمن اللازم لتجمد مثل هذه الماجما في البيان التالي:

سمك الماجما بالاقدام	الزمن اللازم لتجمدها
3	12 يوم
30	3 سنوات
300	300 سنة
3000	30.000 سنة
30.000	3 مليون سنة

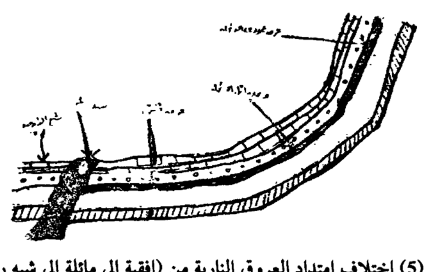
بعض الحالات التي توجد عليها الصخور النارية في الطبيعة

قد تتكون الصخور النارية في باطن الأرض وتعرف في هذه الحالة بالصخور الجوفية أو البلوتونية، كما قد تظهر الصخور النارية باشكال مختلفة فوق سطح الأرض، وفي هذه الحالة الاخرى تعرف باسم الصخور البركانية ومن أمثلة أشكال الصخور البركانية المخروطات البركانية والهضاب البركانية والغبار والمقذوفات البركانية. أما الصخور الجوفية أو البلوتونية التي تتكون في باطن الارض قد تظهر هي الاخرى على سطح الارض بعد إزالة الطبقات الصخرية التي فوقها بفعل عوامل التعرية أو بعد تعرضها لحركات رفع تكتونية تؤدى إلى ظهورها فوق سطح الأرض ومن ثم تسهم هذه الصخور الجوفية في تشكيل الظواهر التضاريسية لسطح الارض. ومن بين اهم الحالات التي قد توجد عليها الصخور النارية الجوفية في الطبيعة ما يلي:

1. العروق النارية Sills: يطلق لفظ عرق نارى Sill على المصهورات النارية التي تنحصر بين سطح الطبقات الصخرية بعد اندفاع الماجما في باطن الأرض، وكثيرا ما تكون هذه العروق افقية الامتداد، ولكن في بعض الحالات قد تكون مائلة أو حتى عمودية، الا انه في جميع هذه الاوضاع لابد وأن يكون

امتدادها العام موازيا لامتداد اسطح الطبقات التي تداخلت فيها العروق النارية Concordant to bedding (شكل 5)

ويختلف حجم العروق النارية من فرشات لافية يقل سمكها عن بوصة واحدة إلى كتل عظيمة الحجم والامتداد من اللافا ويزيد سمكها عن 100 قدم. ولابد أن نوضح هنا اوجه الاختلاف بين العروق الصخرية Sills والفرشات



شكل (5) اختلاف امتداد العروق النارية من (افقية إلى مائلة إلى شبه رأسية) ولكنها في جميع الحالات موازية لاسطح الطبقات أما السدود النارية فهي عمودية على الامتداد العام لاسطح الطبقات.

اللافية المدفونة Buried lava flow والاخيرة عبارة عن مصهورات لافية سطحية ثم غطت بالرواسب وانطمرت تحتها واصبح لها نفس الشكل العام للعروق النارية. ولكن يتبين أن أسطح الفرشات اللافية المدفونة تتميز بسطحها المموج الذى يكثر فيه كذلك الفراغات الصخرية. وان دل وجود هذه الفراغات على شيء فانما يدل على تكوين اللافا فوق سطح الارض وانحباس الغازات فيها. اما أسطح العروق الصخرية النارية فتتميز بأنها ناعمة ولا تظهر فيها مثل هذه الفراغات الصخرية بل قد يلاحظ فيها بعض المفتتات الصخرية التي انفصلت من الطبقات عندما تداخلت فيها العروق الصخرية النارية.

وعندما تظهر العروق النارية على سطح الأرض قد تؤدى إلى تكوين هضاب مستوية الامتداد تبعا للامتداد الافقى للعروق النارية، وفي بعض الاحيان الاخرى عندما تتألف العروق النارية من عدة طبقات لافية متعاقبة وتنفصل عن بعضها البعض بواسطة طبقات صخرية اخرى، تؤدي إلى تكوين المدرجات الصخرية Rock terraces.

من أظهر أمثلة العروق النارية الاسوار الجانبية لنهر هدسون والمعروفة باسم الباليسيد The Palisades. وتظهر هذه الاسوار النارية على شكل حافات رأسية عظمى تكونت أصلا من عرق نارى عظيم الامتداد والسمك في صخور العصر الترياسى. ويتألف هذا العرق النارى من الدياباز Diabase والجابرو Gabbro وعلى الرغم من أن هذه المصهورات النارية هي مواد لعرق ناري أفقي الا أنها تبدو وكأنها كتل عمودية. ويعزى المظهر العمودي الظاهرى للعرق الناري إلى نجاح نهر هدسن في شق خانق نهري عميق في الفرشات النارية من جهة وإلى تأثير الشقوق العمودية Columnor Jointing التي تكونت في مواد العرق الناري أثناء عملية برودة مواده من جهة أخرى (شكل 6).

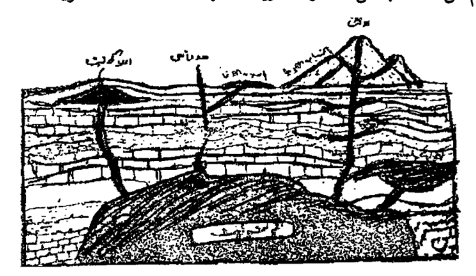


شكل (6) العروق النارية العظمى على جانبي نهر هدسن بالولايات المتحدة الامريكية – لاحظ الشقوق الرأسية التي قطعت العرق الناري، وجعلته يظهر وكأنه مكون من (طبقات) نارية عمودية الميل.

2. السدود النارية Dykes: عبارة عن مظهر من مظاهر انبثاقات الماجما من باطن الأرض واندفاعها رأسيا لتتداخل في طبقات القشرة الارضية. وتتكون السدود بالقرب من سطح الأرض وقد تظهر اطرافها العليا ايضا فوق سطح الأرض. وتختلف السدود على العروق النارية في أن الاولى تتكون عمودية

على امتداد الطبقات التي تتداخل فيها Discordont to bedding ومن ثم فهى لا تتوافق مع الامتداد العام للطبقات باختلاف العروق النارية (شكل 7)

ويختلف سمك السد الناري من بضعة بوصات إلى مئات من الاقدام. وعلى سبيل المثال يبلغ سمك سد مدفور Medford الناري بالقرب من بوسطن - ماساشوست - نحو 500 قدم، في حين يقل سمكه عن ذلك كثيرا في بعض المواقع الاخرى. ومن الصعب اكتشاف السدود النارية الا بعد اجراء الدراسات التطبيقية التفصيلية الجيولوجية في المناطق المختلفة أو بمساعدة عوامل التعرية التي تعمل على ازالة الطبقات اللينة واظهار مثل هذه السدود النارية. وعلى الرغم من سمك بعض السدود النارية الا انها قد تمتد لمسافات طويلة.

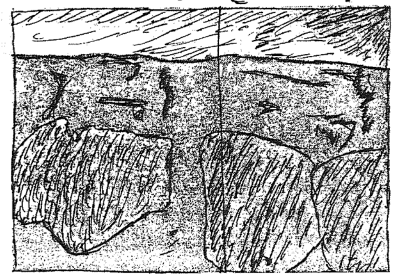


شكل (7) بعض الاشكال التي تتخذها المصهورات النارية بالقرب من سطح الارض وفوقه.

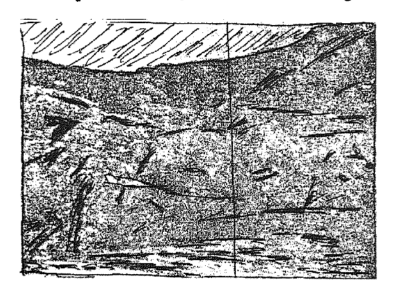
ففى جزيرة ايسلند تمتد كثير من السدود النارية لمسافة تزيد عن 30 ميلا، بل يوجد بهذه الجزيرة بعض السدود النارية التي يمتد كل منها لمسافة 65 ميلا. أما في غرب اسكتلند وجنوبها فقد تمتد السدود النارية لبضعة مئات من الاميال فيما بين جزيرة سكاى sky شمالا إلى جزيرة آران Aran جنوبا (شكل 8 أ،ب)

شكل (8) السدود النارية الرأسية. وفي الصورة سد نارى بالزلتى متداخل في صخور نارية جرانيتية في منطقة ماستشوست بالولايات المتحدة الامريكية (في

شكل 8 أ يظهر السد الرأسي عموديا على أسطح الطبقات، وفي شكل 8 ب يظهر السد الرأسي وهو فوق سطح الأرض).



شكل (8 أ) السدود النارية الرأسية متداخلة في الطبقات.



شكل (8 ب) السدود النارية الرأسية ظاهرة على الأرض.

وتتوقف أشكال الظواهر التضاريسية الناجمة عن السدود الرأسية فوق سطح الأرض على طبيعة المادة التي تتألف منها السدود واختلاف صلابتها بالنسبة لصلابة الطبقات الصخرية التي تداخلت فيها. فاذا كانت السدود الرأسية النارية أعظم صلابة من الصخور التي تداخلت فيها، تبقى هذه السدود على

شكل حواف رأسية عالية بعد أن تعمل عوامل التعرية على نحت الصخور اللينة. أما إذا كانت مواد السدود النارية أقل صلابة من الصخور التي تداخلت فيها، تبقى هذه السدود على شكل حواف رأسية عالية بعد أن تعمل عوامل التعرية على نحت الصخور اللينة. أما إذا كانت مواد السدود النارية أقل صلابة من الصخور التي تداخلت فيها، فتعمل عوامل التعرية على نحتها وتآكلها وقد تظهر السدود على شكل خنادق طويلة تمتد مع امتداد السدود النارية نفسها.

3. الكتل القبابية اللافية العظمى **Batholiths**: الباثوليت عبارة عن كتل قبابية لافية عظمى هائلة الحجم ويزداد حجمها في اتجاه باطن الارض بحيث يصعب تحديد قاعدة تلك المواد اللافية. وعندما تظهر مواد الباثوليت على سطح الأرض فانها تغطى حيزا لا تقل مساحته عادة عن 40 ميلا مربعاً.

والباثوليت في الواقع عبارة عن خزانات هائلة للماجما ولكن تعرضت لعمليات البرودة، وأصبحت كتلاً نارية عظمى. وعندما تتعرض الباثوليت لحركات رفع من أسفل إلى أعلى قد ترتفع أعاليها إلى عدة آلاف من الاقدام فوق مستوى سطح البحر الحالي. وبذلك تتعرض أعلى الباثوليت لعوامل التعرية المختلفة التي تعمل بدورها على تآكل الأجزاء الضعيفة جيولوجيا وازالتها.

ومن بين نماذج كتل الباثوليت القبابية العظمى، كتل ويكلو Wicklo والباثوليت الجرانيتية في مرتفعات جوديت Judith Mt بولاية منتانا.

ويرجع معظم الجيولوجيين سبب ظهور الباثوليت على شكل قباب هائلة الحجم، إلى اندفاع اللافا أو الماجما إلى أعلى تحت الضغط والحرارة الشديدين، وصهر الصخور الاخرى التي تصادف طريق الماجما، ومن ثم تتكون قبة لافية أو جرانيتية عظيمة تخترق الصخور الاخرى وتمزق بنيتها. وقد يتكون على جوانب القبة العظمة اكوام قبابية صغيرة الحجم نسبياً يطلق عليها اسم القباب الدائرية الصغيرة Stocks or Bosses. ومن أظهر أمثلة الباثوليث التي تعرضت لعوامل التعرية ما يشاهد في بعض أجزاء من مرتفعات وايت White Mts في نيو هامبشير وبمرتفعات سيرانيفادا حيث تظهر قباب يوسميت العظمى Yosemite – في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الامريكية – وقد تأثرت بشدة عوامل التعرية التي

عملت على تسوية منحدرات القباب، وأصبحت المنطقة شديدة التضرس قبابية المظهر (شكل 9).



شكل (9) المظهر القبابي العظيم لقباب الباثوليت في منطقة يوسميت في كاليفورنيا.

ويمكن أن نسجل الملاحظات الهامة الآتية عن قباب الباثوليت:

أ. يرتبط وجود الباثوليت بالسلاسل الجبلية العظمى، ويندر مشاهدتها في مناطق لم تتعرض للالتواءات ولحركات الطى والثنى من قبل، كما انه ليس من الضرورى أن تتمثل الباثوليت في جميع المناطق الالتوائية. ويمكن القول بأن الباثوليت يعظم حجمها كلما كانت حركة الالتواءات عنيفة والسلاسل الالتوائية عظيمة الارتفاع.

ب. تمتد الباثوليت في اتجاهات موازية للاتجاه العام للسلاسل الجبلية التي تداخلت فيها.

جـ. تظهر قباب الباثوليت عادة في مرحلة متأخرة بعد اتمام تكوين السلاسل الجبلية العظمى - أي بعد أن تنجح عوامل التعرية من ازالة الطبقات اللينة واظهار كتل الباثوليت. ولكن قد تتعرض هذه السلاسل الجبلية لحركات رفع تكتونية من جديد بعد ظهور الباثوليت على سطح الأرض.

د. تتميز أعالي الباثوليت بشكلها القبابي تبعا لتعرض اللافا المنصهرة لعمليات البرودة السريعة نسبيا واختلاطها بالمفتتات الصخرية التي كانت تتمثل في المنطقة قبل اندفاع اللافا والماجما فيها.

هـ. تتألف الباثوليت غالباً من الصخور الجرانيتية، والجرانوديوريتية (جرانيت ديوريت).

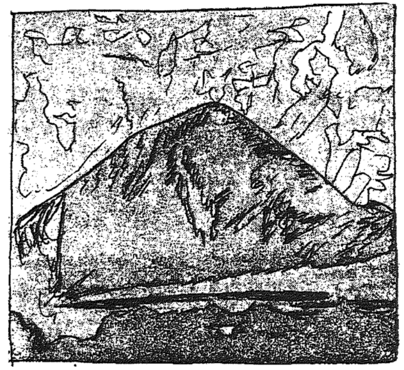
و. يعتقد بعض الجيولوجيين بان الباثوليت اكتسب حجمها العظيم بعد ان نجحت في صهر الصخور الاصلية بالمنطقة التي اندفعت فيها.

ز. يتنوع حجم الباثوليت من منطقة إلى أخرى، وعلى سبيل المثال يلاحظ أن الباثوليت في المرتفعات الساحلية بألسكا وكولومبيا البريطانية يبلغ طولها نحو 1100 ميل، ويتراوح عرضها من 90-120 ميل، في حين تلك في مرتفعات سيرانيفادا بكاليفورنيا لا يزيد طولها عن 400 ميل ويتراوح عرضها من 40 - 70 ميلاً.

وقد تبرد الماجما في باطن الأرض وبالقرب من سطح الأرض على شكل قباب نارية أقل حجما بكثير من قباب الباثوليت واذا كان السطح العلوي لهذه القباب محدبا اي على شكل كتل هلالية محدبة فتعرب باسم اللاكوليث Laccolith. أما إذا امتدت المصهورات النارية بين الطبقات الصخرية على شكل (اطباق) مفلطحة أو مقعرة أي على شكل كتل هلالية مقعرة فتعرف في هذه الحالة باسم الفاكوليت Phacolites.

وعلى الرغم من ان كمية المواد المنصهرة التي تتألف منها الفاكوليت واللاكوليث محدود بالنسبة لقباب الباثوليت، إلا أن سمكها الظاهرى قد يكون عظيما ويمثل ظاهرة واضحة على سطح الارض، فقد تتكون اللاكوليث من فرشات نارية محدودة السمك تنحصر بين الطبقات الصخرية المنثنية المحدبة، وبعد ازالة الطبقات الصخرية اللينة بفعل عوامل التعرية تظهر قباب اللاكوليث على سطح الارض وقد احتلت حيزاً كبيراً تبعا لظهور الامتداد الافقى أي السمك الظاهري لموادها وليس السمك الحقيقي - الامتداد الرأسي - للاكوليث. ومن

اجمل امثلة اللاكوليث تتمثل في مرتفعات هنرى لاسال Henry la Sal وبمرتفعات أباجو Abajo في جنوب ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الامريكية (شكل 9).



شكل (10) احدى قباب اللاكوليث وتشكيل منحدراتها بفعل عوامل التعرية

كما ينجم عن الفاكوليت تكوين مناطق حوضية عظيمة المساحة على سطح الارض اذا ما تعرضت الطبقة الصخرية التي كانت تعلوها لفعل عوامل التعرية.

وقد تتخذ الطفوح النارية المنبثقة من أعماق بعدية من باطن الأرض شكل حلقات من المصهورات النارية تحصر بينها الصخور الاخرى، ويطلق على مثل هذه الظاهرة اسم اللابوليث Lapoliths.

تصنيف الصخور النارية وبعض نماذج لانواعها المختلفة.

يمكن تصنيف الصخور النارية إلى مجموعات مختلفة على اساس اختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته أو على أساس تنوع التركيب الكيميائى لمعادن الصخر أو على أساس اختلاف الوان الصخر ومظهره الخارجى ولكن

انسب هذه التقاسيم ذلك الذي يعتمد على كل الخصائص الطبيعية للصخر الناري. وفيما يلي محاولات مختلفة لتصنيف مجموعات الصخور النارية.

أولا: بحسب اختلاف نسيج الصخر ومدى تبلور حبيباته:

حيث أن المعادن المتبلورة وغير المتبلورة تدل على الظروف التي صاحبت نشأة الصخور النارية، فليس من الغريب أن تساهم هذه الخاصية في تصنيف مجموعات الصخور النارية. وعلى أساس اختلاف نسيج الصخور النارية ومظهرها الخارجي يمكن أن تميز المجموعات الآتية:

أ. الصخور النارية الكاملة التبلور:

وهي التي تتكون في باطن الأرض، وتتعرض معادنها للبرودة التدريجية ومن ثم استطاعت أن تكون بلورات معدنية كاملة التبلور. وتبعاً لتكوين هذه المجموعة من الصخور داخل جوف الارض فتعرف الصخور باسم الصخور النارية الجوفية العميقة Deep – Seated or Plutonic Rocks.

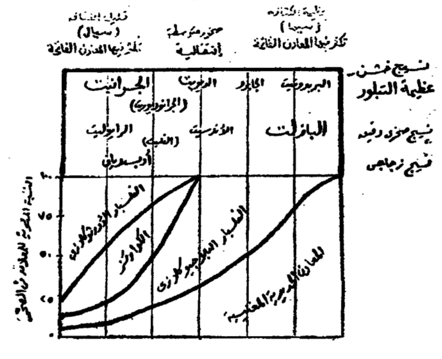
ب. الصخور الزجاجية المظهر:

وهي التي تتكون فوق سطح الأرض، حيث تتعرض معادنها للبرودة الفجائية ومن ثم لا تتكون فيها البلورات المعدنية. وتتميز هذه الصخور بمظهرها الزجاجي وتعرف الصخور كذلك باسم الصخور الطفحية أو البركانية Volcanic.

جـ. الصخور النارية البورفيرية المظهر:

يطلق هذا التعبير على مجموعة الصخور التي تتميز بأن بعض معادنها متبلورة ومبعثرة في محيط من معادن غير متبلورة. ويعزى تبلور بعض معادن هذه الصخور وعدم تبلور بعضها الآخر إلى برودة الماجما بالقرب من سطح الأرض ثم ظهورها على سطح الأرض قبل أن تتم عملية التبلور تماما. وتبعا لتكوين هذه المجموعة من الصخور بالقرب من سطح الأرض وعلى أشكال العروق والسدود النارية فتعرف الصخور كذلك باسم الصخور النارية تحت السطحية أو

المتداخلة Intrmediate or Intrusive Hyphyssal Rock ومــن أمثلتـها البورفـير، والبورفيريت، والفلسيت والدولوريت (شكل 10).



شكل (10) تصنيف الصخور النارية وأهم مجموعاتها.

ثانياً: بحسب اختلاف التركيب الكيميائي لمعادن الصخر:

قد يهمل بعض الكتاب التركيب الكيميائي لمعادن الصخور النارية وأهميتــه في تصنيف الصخور النارية ذلك لانه قد يلاحظ أن هناك صخرين ناريين متشابهين من حيث التركيب الكيميائي الا أنهما مختلفان من حيث المظهر الخارجي والنســيج الصخري بــل والــون الصخـر. ولكـن اذا وضعنـا في الاعتبـار بـأن عـدد المعـادن الأساسية التي تدخل في تركيب قشرة الأرض لا يزيد عن عشرة معـادن فقـط، بـل وان الصخور النارية بوجه خاص تتألف أساسـا مـن ثـانى اكسـيد السـيلكون مـع أكاسيد اخرى فلزية ولا فلزية لتبين الاهمية الاخـرى الخاصـة بنسـبة وجـود ثـانى أكسيد السليكون في مجموعات الصخور النارية. وعلى أساس اختلاف نسـبة ثـاني اكسيد السليكون يمكن أن نميز المجموعات الآتية من الصخور النارية:

أ. صخور حمضية Acid rocks:

ترتفع فيها نسبة ثانى اكسيد السليكون عن 66٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها الجرانيت (جوفى عميق) والفلسيت (متداخل - وسيط)، والريوليت (طفحى - بركانى).

ب. صخور متوسطة Intermediate rocks:

تتراوح نسبة ثانى اكسيد السليكون فيها من 52-66 ٪ من جملة وزن الصخر، ومن امثلتها السيانيت والديوريت (جوفية) والبورفورتي (وسيط) والتراكيت والاندسيت (سطحية).

جـ. صخور قاعدية Basic rocks:

تتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون من 40-52٪ من جملة وزن الصخر، ومن بينها البريدونيت (جوفى)، واللمبرجيت (طفحى).

ثالثا: بحسب اختلاف الوان الصخر ومظهره الخارجى العام:

الصخور النارية الفاتحة اللون:

تتميز بقلة ثقلها النوعي وتتركب عامة من سليكات الالمونيوم، ومن ثم تعرف مجموعة الصخور هذه باسم السيال Sial وهي صخور حمضية ترتفع فيها نسبة اكسيد السلكون عن 66٪ واظهر نماذج هذه المجموعة من الصخور الجرانيت، والجرانيت الدايورتي Grano – diorites ويقدر الباحثون بأن هذين الصخرين يكونان نحو 95٪ من جملة الصخور النارية الفاتحة اللون والتي تتبلور عادة على بعد عشرة أميال من سطح الأرض.

والجرانيت يتألف من معادن الفلسبار الاورثوكلازى والكوارتز والفلسبار البلاجيوكلازى وكمية قليلة من المعادن الحديدية. المغنيسية. وهو صخر كامل التبلور الا انه يختلف من صخر خشن الحبيبات إلى مجموعات مختلفة منه دقيقة الحبيبات. وعندما يتفتت الجرانيت بفعل عوامل التعرية تتحول الميكا والفلسبار

إلى المواد الطينية. اما حبيبات الكواتز الصلبة فتكون ذرات الرمال. وقد استخدم الفراعنة هذا الصخر في بناء الاعمدة والمسلات الجرانيتية تبعا لصلابته وقابليته للانصقال (شكل 11)



(شكل 11) عينة لصخر الجرانيت خشن الحبيبات.

أما صخر الديوريت Diorite فهو صخر جوفي يشبه الجرانيت ومن ثم فهو كامل التبلور ولكن تقل فيه نسبة الكوارتز ويدخل في تركيبه اساسا البلاجيوكلاز والهورنبلند. وقد اكسبت هذه المعادن الاخيرة الصخر اللون الاسود، كما اصبح ثقله النوعى أكبر من ثقل الجرانيت.

وهناك بعض الأنواع الأخرى من الصخور النارية تشبه صخر الجرانيت كيميائيا، ولكن يختلف مظهرها الخارجى عنه كما قد يكون بعضها الآخر عديم البلورات أو داكن اللون ومن بين هذه الأنواع:

الرايوليت **Rhyolite**: حيث يتميز بنفس التركيب الكيميائي للجرانيت الا أنه تبعا لنشأته فوق سطح الأرض مع المصهورات البركانية فانه صخر دقيق الحبيبات، زجاجى المظهر ومتوسط اللون.

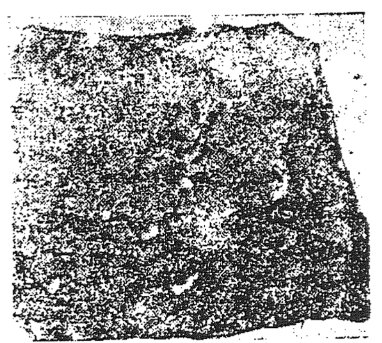
الاوبسيديان **Obsidian**: وهو الزجاج الصخرى الطبيعى، ويشبه عامة التركيب الكيميائى للجرانيت؛ ومع ذلك فهو زجاجى المظهر، عديم التبلور تبعا لتكوينه فوق سطح الأرض، وداكن اللون.

حجر الخفاف **Pumice**: وهو صخر طفحى يتكون فوق سطح الارض وتعرض للبرودة الفجائية، وتكثر الفراغات الصخرية في الصخر تبعا لانحباس الغازات في مواد الصخر عندما تعرضت لعمليات البرودة. ومن ثم يتيمز الصخر بخفة وزنه وقدرته على الطوفان فوق سطح الماء، وهو يشبه صخر الجرانيت كذلك من ناحية التركيب المعدنى.

2. الصخور النارية الداكنة اللون:

تتميز الصخور النارية الداكنة اللون بأنها أعظم ثقلاً وكثافة من الصخور النارية الاخرى الفاتحة اللون. ويطلق عليها اسم صخور السيما Sima حيث تتألف كيميائيا من سليكات المغنسيوم، ومن ثم فهى قاعدية تتراوح فيها نسبة أكسيد السليكون من 40-52٪ وعلى ذلك يمكن القول عامة بأن الصخور الحمضية التي تتركب أساسا من الكوارتز والفلسبار فاتحة أو باهتة اللون وخفيفة الوزن، في حين أن الصخور القاعدية التي تتركب اساسا من الاوجيت والاوليفين قاتمة أو سوداء اللون، وغالبا ثقيلة الوزن. وتؤلف هذه الصخور النارية الداكنة الثقلية الوزن ارضية المحيطات وخاصة المحيط الهادي. ويقدر الباحثون بأن نحو 98٪ من جملة حجم اللافا التي بردت على سطح الارض تتألف من البازلت والاندسيت.

ويتميز البازلت بلونه الاسود الداكن، وتكثر في سطحه الفراغات والثقوب نتيجة لتصلبه فوق سطح الارض وانحباس بعض الغازات في مواد الصخر أثناء عملية برودتها. (شكل 12) ويتركب البازلت من الفلسبار البلاجيوكلازي والمعادن الحديدية المغنيسية.



شكل (12) عينة لصخر البازلت الاسود دقيق الحبيبات

ويتألف من بلورات مجهرية وعندما يتعرض البازلت لعوامل التعرية يتشقق ويتفتت على شكل أعمدة سداسية الجوانب. ومن أظهر نماذج تشقق البازلت العمدانى ما يتمثل في منطقة بورت رش - انتريم - بالقسم الشمالي من أيرلند.

ويشبه الجابرو Gabbro صخر البازلت من حيث التركيب الكيميائي العام حيث يدخل في تركيبه الحديد والمغنيسوم، ومن ثم فثقله النوعى مرتفع، ولكنه يختلف عن البازلت في أنه صخر قاعدى، كامل التبلور. خشن الحبيبات لتكوينه في داخل قشرة الأرض.

3. الصخور النارية الوسيطة:

يقع فيما بين مجموعتى الصخور النارية الفاتحة اللون (معظمها حمضية التركيب) وبين الصخور النارية الداكنة اللون (معظمها قاعدية التركيب). مجموعة ثالثة من الصخور يطلق عليها اسم الصخور الوسيطة Intermediate types. ومن ثم فهذه الصخور الاخيرة وسيطة من حيث تركيبها المعدنى وكذلك من ناحية نسيجها والوانها العامة.

ومن بين نماذج هذه المجموعة الوسيطة صخر الاندسيت[1]. وهو صخر نارى دقيق الحبيبات الا انه يقع في مرحلة تتوسط كل من الجرانيت والبازلت. ويتميز الصخر بالوانه المتوسطة وتتراوح نسبة ثانى اكسيد السليكون فيه من 52-66٪ ويتألف من معادن الفلسبار الاورثوكلازى والهورنبلند. وفي بعض الاحيان تكون معادن الهورنبلند والاوجيت داخل صخر الاندسيت بلورات واضحة ترى بالعين المجردة.

وينتشر صخر الاندسيت في المناطق البركانية وخاصة بحلقة النار على جوانب المحيط الهادي. وعندما يتعرض الصخر للبرودة التدريجية يصبح خشن الحبيبات ويتكون صخر آخر يعرف باسم الديوريت Diorite.

وهناك مجموعة أخرى من الصخور النارية تعد وسيطة النسيج، أي تقع في مرحلة متوسطة فيما بين الصخور النارية الكاملة التبلور، وتلك الزجاجية المظهر العديمة التبلور. ويطلق على هذه المجموعة من الصخور اسم المجموعة البورفيرية Prophyritic Series ومعرفة نسيج الصخور النارية من العوامل الهامة التي تساعد على تصنيفها. فنلاحظ مثلا أن كلا من الجرانيت والريوليت والاوبسيديان تتشابه جميعا من حيث التركيب الكيميائى في حين انها تختلف فيما بينها من حيث تنوع النسيج الصخرى. ومن بين أهم نماذج هذه المجموعة من الصخور ما يلي:

صخر البورفير **Porfyry**: وهو صخر متوسط التبلور حيث يتكون بالقرب من سطح الارض وخاصة في السدود والعروق النارية. وتتألف بلوراته الكاملة أساسا من الارثوكلاز، ويشبه صخر السيانيت من حيث التركيب الكيميائى.

صخر البورفيريت **Porphyrte**: وهو صخر متوسط التبلور لتكوينه بالقرب من سطح الأرض مع السدود والعروق النارية. ولكن تتألف بلوراته الكاملة أساسا من البلاجيوكلاز، ويشبه صخر الديوريت من حيث التركيب الكيميائى وتتراوح نسبة ثانى أكسيد السليكون فيه من 52-66٪.

---

(1) اكتشف هذا الصخر في بداية الامر بمرتفعات الانديز Andis ومنها اشتق الصخر اسمه.

٤

الفصل الرابع

الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

الفصل الرابع

الكتل القارية المستقرة ومناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

تتألف قشرة الأرض اليوم من نطاقات صخرية مختلفة تتنوع فيما بينها تبعا لمدى تأثرها بالحركات التكتونية. فهناك أجزاء واسعة من قشرة الارض تتألف من كتل صخرية قديمة العمر الجيولوجى يرجع معظمها على فترة ما قبل الكمبرى، ويتألف القليل من أجزائها من صخور اعالى الزمن الجيولوجى الاول. ومن ثم فان هذه الكتل الصخرية الصلبة تبدو مستقرة جيولوجيا، ولم تتعرض لحدوث الالتواءات الالبية الميوسينية العظمى Alpine Orogenesis. ولا يبدو انه يمكن ان تتعرض بعض أجزاء تلك الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية حديثة مكونة لسلاسل جبلية عظمى، ويعزى ذلك إلى شدة صلابة صخورها من جهة، وقلة سمك الفرشات الارسابية المتجمعة فوق بعض أجزائها من جهة اخرى، واذا تعرضت بعض أجزاء هذه الكتل الصخرية القديمة لحركات تكتونية ما، فينجم عن ذلك غالبا تعرضها لحركات صدعية عظمى، ومن ثم تتزحزح بعض صخورها افقيا أو رأسيا وتتكون فيها مناطق الصدوع العظمى وتتأثر بنماذج مختلفة من الصدوع المركبة والاحواض الصدعية الهابطة Grabens والهضاب الصدعية البارزة Horsts، والاخاديد الصدعية العظمى كالاخدود الافريقى العظيم. ويطلق على هذه النطاقات الصخرية من قشرة الأرض اسماء مختلفة من أكثرها شيوعا تعبير الكتل القارية القديمة Ancient Land Masses ويقصد بذلك أجزاء القارات القديمة العمر الجيولوجى والعظيمة الصلابة Highly Rigid، أو الكتل القارية المستقرة Stable Land Masses حيث انها تعد أعظم أجزاء القارات استقرارا من الناحية الجيولوجية. ويطلق بعض الجيولوجيين على مثل هذه النطاقات القارية تعبير الكتل القارية الهضبية القديمة

Ancient Shields، ذلك لانها نطاقات قارية قديمة العمر الجيولوجي من ناحية، وانها جميعا تبدو على شكل سهول واسعة الامتداد ذات أسطح محدبة قليلا من القسم الاوسط منها Gently Convex Profiles، وتنحدر انحدارا تدريجيا بسيطا نحو الاطراف من ناحية اخرى.

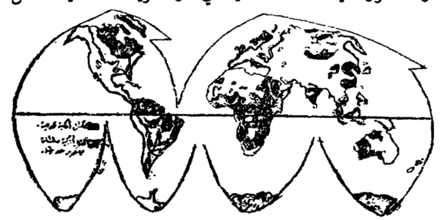
وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة ان الكتل القارية القديمة قد اتصلت بعضها بالبعض الآخر عن طريق ملاحم جيولوجية عظيمة تمثل في نفس الوقت مناطق ضعف جيولوجية عظمى. ومن ثم اكد الجيولوجيون بأن تلك المناطق الأخيرة كانت في بداية نشأتها عبارة عن أحواض بحرية عظيمة Geosynclines تجمعت الرواسب الهائلة الحجم فوق قاعها خلال ازمنة جيولوجية طويلة متعاقبة، ثم تعرضت هذه الرواسب لعمليات الرفع التكتونية وظهرت فوق سطح الارض على شكل جبال وسلاسل جبلية ربطت الكتل القارية القديمة جيولوجيا بعضها بالبعض الآخر. وحيث تكونت هذه النطاقات الضعيفة جيولوجيا بفعل الحركات التكتونية الالبية الميوسينية، فانها تعد مناطق حديثة غير مستقرة جيولوجيا، ولا تزال تتعرض أجزاؤها المختلفة في الوقت الحاضر لحركات تكتونية متنوعة وتمثل اهم نطاقات حدوث الزلازل والبراكين.

أولا- الكتل القارية المستقرة جيولوجيا

تمثل الكتل القارية المستقرة المناطق القديمة العمر جيولوجيا، ومن ثم بقايا اليابس الأولى القديم Primitive Londs لقشرة الأرض. وقد كانت تلك الكتل - المنتشرة حاليا في مناطق مبعثرة في القارات الحالية فوق سطح الارض - أكثر اندماجا وارتباطا مع بعضها البعض بل وكانت تكون كتلا واسعة الامتداد في القارات القديمة العمر الجيولوجي. فقد اعتقد فجنر .Wegener A بأن يابس قشرة Pangaea وكان يمتد في أواسطها بحر جيولوجي قديم، أطلق عليه اسم بحر تتش Tethys. اما الباحث الامريكي تايلور Taylor F. B فقد أوضح بأن أجزاء عظمى من قارات أمريكا الشمالية واوربا وآسيا كانت ملتحمة مع بعضها البعض في كتلة قارية قديمة أطلق عليها اسم كتلة لوراسيا Laursia.

وقد اتفقت الدراسات الجيولوجية على أن يابس القسم الشمالى من العالم القديم (قبل العصر الكربونى) كان يتألف من قارتين، احداهما تقع في الغرب وأطلق عليها اسم كتلة اركتس Arctis والاخرى تقع في الشرق وأطلق عليها اسم كتلة انجارا Angara أما يابس القسم الجنوبى من الكرة الأرضية فكان يتألف قديما من كتلة قارية عظمى، اطلق عليها اسم كتلة جندوانا Gondwana وقد أجمعت نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة، على أن هذه الكتل القارية العظمى القديمة تعرضت للانقسام والزحزحة الافقية منذ بداية العصر الكربونى تقريبا، وأخذ بعضها يتباعد عن البعض الآخر. وفي مواقعها الجديدة التي استقرت عندها تلك الكتل، وبعد أن توقفت عمليات زحزحتها، أخذت تنمو بالتدريج نتيجة لإضافة اجزاء جديدة من اليابس إلى أطرافها وهوامشها. وهكذا كانت ولا تزال تعد أجزاء تلك الكتل القارية القديمة النواة التي نمت وتنمو عليها كل من القارات الحديثة التي تظهر اليوم فوق سطح الأرض.

ومن دراسة التوزيع الجغرافي للكتل القارية القديمة نجدها ممثلة وفي قارة اوروبا حيث تظهر هنا كتلة فينو – سكانديا Fenno – Scandia (الكتلة الفنلندية – البلطية) وكتلة الرصيف الروسى. وفي قارة آسيا تمتد كتلة سيبريا في القسمين الشمالى والشرقى والشمالى منها، وكتلة الصين في القسم الشرقى، وكتلة الدكن في القسم الجنوبى من آسيا. هذا وتمتد كتلة غرب أستراليا في قارة أستراليا، وكتلة جنوب أفريقية في قارة أفريقية، وكتلة شرق البرازيل وكتلة جيانا في قارة أمريكا الجنوبية، وكتلة لورانشيا (الكتلة الكندية) في قارة أمريكا الشمالية (شكل 1).



شكل (1) التوزيع الجغرافي للكتل القارية القديمة المستقرة

وليس من الحكمة في دراستنا هذه أن نقوم بعرض دراسة وصفية تفصيلية لجميع الكتل القارية، أو لكل منها على حدة، ذلك لان جميع هذه الكتل القارية المستقرة تتشابه جيولوجيا وتشترك مع بعضهعا البعض في كثير من الخواص الجيولوجية والجغرافية، أو بمعنى آخر تكاد كل كتلة قارية منها تضم نفس الخصائص الجيولوجية والجغرافية التي يمكن ان تلا-ـظ في غيرها من الكتل القارية الاخرى. ومن ثم يحسن في هذا المجال بدلا من القيام بالدارسة الوصفية لكتل كتلة قارية على حدة أن نوضح الخصائص الجيولوجية والجغرافية التي تميز جميع الكتل القارية وتميزها عن غيرها من النطاقات الجيولوجية الاخرى فوق سطح الارض. وهذا لا يمنع أيضا من أن نقوم بعرض للتطور الجيولوجى والخصائص العامة لاحدى هذه الكتل – ولتكن الكتلة اللورنشية – كنموذج تطبيقى دراسى لبقية الكتل القارية الاخرى. وتتلخص الخصائص المشتركة العامة للكتل القارية في النقاط التالية:

1. التركيب الصخرى:

تتألف الكتل القارية المستقرة من صخور قديمة العمر الجيولوجى يرجع أغلب مجموعاتها إلى عصر ما قبل الكبرى Pre – Canbrian – وقد تبين من نتائج الدراسات الجيولوجية المختلفة بأنه كلما كانت تلك الصخور أقدم عمراً جيولوجيا، فإنها تصبح أعظم صلابة واشد تماسكاً عن غيرها من مجموعات الصخور الاخرى. كما تبين كذلك بأن الصخور الرسوبية في تلك الكتل القديمة نتيجة لعظم طول عمرها الجيولوجى وتعرضها لعمليات الضغط الشديدة بفعل الرواسب الاحدث عمراً والتي تراكمت فوقها خلال بعض الفترات الجيولوجية، ونتيجة لتداخل مصهورات نارية فيها، تعرضت بشدة لعمليات التحول الصخرى وأصبحت صخورا متحولة.

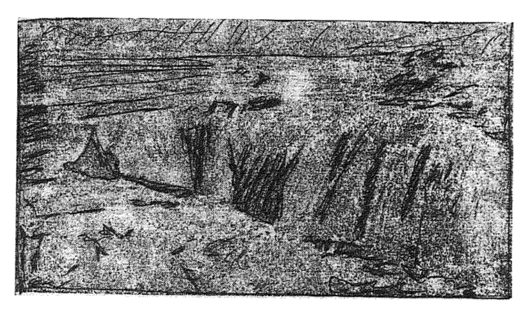
وتشتمل الكتل القارية المستقرة جيولوجيا على مجموعات متنوعة من صخور ما قبل الكمبرى ومن بين أكثر أنواع الصخور شيوعا في الكتل القارية صخر النيس. وهذا الصخر الاخير يتحول عن كل من الصخور النارية والصخور

الرسوبية، ويتداخل صخر الجرانيت في صخور ما قبل الكبرى القديمة علـى شـكل عروق وسدود نارية. ومن بين أظهر الصخور الرسوبية في تكوينات الكتل القاريـة المستقرة صخور رملية خشنة الحبيبات تعرف باسم الجراى واكى Gray – wacke. هذا إلى جانب صخـور مختلفـة اخـرى منـها صخـور الجمعـات (الكونجلومـرات) Conglomerates، والكوارتزيت، والاردواز، والفيليت، والشيست).

وفي القسم الاسفل من عصر ما قبل الكمبرى نلاحظ مجموعة أخـرى مـن الصخور تأثرت بعمليات تحول بدرجات أقل من بعض الصخور السالفة الذكـر، ومن بين هذه المجموعة مـن الصخـور، الحجـر الرملـى الصلـب، والدولوميـت، والحجر الجيرى الصلب، والصلصال.

2. قدم العمر الجيولوجى:

من اهم الخصائص الجيولوجية المميزة لجميع الكتـل القاريـة المستقرة فـوق سطح الارض أنها قديمة العمر الجيولوجي، وأن معظم صخورها كمـا اتضـح مـن قبل ترجع إلى فـترة مـا قبـل الكمـبرى. ويقـدر الجيولوجيـون العمـر الجيولوجـى النسبيى لصخور فترة ما قبل الكمبرى بدراسة تأثير فعل العناصر المشعة – Radio active Elements مثل اليورانيوم والثوريوم والرابيديوم والبوتاسـيوم في الصخـور القديمة ومن نتائج هذه الدراسات تبين أن أقدم صخور مـا قبـل الكمـبري بـالكتل القارية القديمة في جنوب افريقية يرجع عمرها إلى نحو 3300 ميلون سنة، وفي الكتل اللورنشية إلى نحو 3400 مليون سنة، وفي الكتلة البلطية إلى نحو 3500 مليـون سـنة، وفي كتلة غرب استراليا إلى نحو 3000 مليون سنة (شكل 2).



شكل (2) الصخور النارية والمتحولة القديمة لكتلة غرب أستراليا - لاحظ تكوين الجذور الجبلية النارية القديمة

3. الجذور النارية القديمة:

من دراسة التركيب الجيولوجى للكتل القارية المستقرة جيولوجيا يتضح أن هناك بعض نطاقات من صخور الجرانيت مبعثرة في مناطق متفرقة وخاصة بالقسم الاوسط من الكتل القارية. وتبدو صخور الجرانيت شديدة التأثر بفعل عوامل التعرية التي نجحت في تسوية الكتل الجرانيتية وإزالة الكثير من تكويناتها. واكد الباحثون بأن معظم تكوينات الجرانيت في الكتل القارية المستقرة تمثل في الواقع جذوراً نارية قديمة Ancient Lgneous Roots لمرتفعات وسلاسل قديمة العمر الجيولوجي. وقد نجحت عوامل التعرية في إزالة الكثير من تكوينات هذه الجذور الجبلية خلال الازمة الجيولوجية الطويلة.

واكد الاستاذ والتون مات Walton Matt عام 1959، بأن صخور الجرانيت في كتل ما قبل الكمبرى المستقرة جيولوجيا لا تبدو بأنها تكونت على أعماق بعيدة - كما هو معروف عامة عن صخر الجرانيت - ولكنها ربما تكونت نتيجة لتعرض صخور متحولة لعمليات تحول شديدة أكثر من مرة. وهكذا

ظهرت حديثا مشكلة جديدة في الدراسة الجيولوجية تعرف بمشكلة نشأة الجرانيت The Granite Problem.

وقد لاحظ والتون مات حقيقة اخرى، وهي أن صخور الجرانيت التي تمثل جذور المرتفعات القديمة في الكتل القارية توجد غالبا في اواسط تلك الكتل ولا تتمثل عند أطرافها، وإن دل هذا على شيء فانما يدل على أن تلك النطاقات الجرانيتية الجذرية هي عبارة عن قلب الكتل القارية القديمة Heartlands. أما التكوينات الجرانيتية الممثلة عند هوامش الكتل القارية فتعزى نشأة الكثير منها إلى تداخل المصهورات النارية في صخور الكتل القارية خلال أزمنة جيولوجية مختلفة.

ومن ثم أوضح (مات) بأن الكتل القديمة المستقرة كانت تتألف عند بداية تكوين قشرة الارض، ونشأة اليابس من صخور نارية تتمثل في صخور باطن الارض الاولية التي تعرضت لعمليات البرودة التدريجية. وبفعل عوامل التعرية والتجوية الشديدة خلال فترة ما قبل الكمبرى بمراحل بعيدة، تعرضت الصخور للتفتيت والتحلل وتجمعت المفتتات والرواسب وتكونت الصخور الرسوبية حول الكتل النارية القديمة. واستمرت هذه الصخور الاخيرة تتجزأ وتتفتت بفعل عوامل التعرية حتى لم يبق منها في الوقت الحاضر سوى بقايا متناثرة تدل على أنها كانت جذوراً لسلاسل جبلية نارية قديمة. أما الصخور الرسوبية الحطامية القديمة حول تلك التكوينات النارية فقد تعرضت بدورها لعمليات التحول الصخرى، وأصبحت عظيمة الصلابة وتمثل نسبة كبيرة من جملة تكوينات الكتل القارية المستقرة القديمة.

4. الكتل القارية القديمة نواة للقارات الحديثة:

إذا كانت الجذور النارية هي قلب الكتل القارية، فان الأخيرة تعد بدورها النواة الرئيسية Nuclei or Cores التي نمت حولها كل من قارات العالم المختلفة. ومن ثم نلاحظ عند دراسة مراحل القارات المختلفة بأن كلا منها مركب من نطاقات صخرية حديثة العمر الجيولوجى، تحاط بالكتل القارية القديمة جيولوجيا. فنمت قارة أمريكا الشمالية حول نواتها القديمة الممثلة في الكتلة

اللورنشية، في حين عظم اتساع قارة أمريكا الجنوبية بعد اضافة مساحات جديدة من اليابس الحديث العمر جيولوجيا إلى كل من كتلتى البرازيل وجيانا. وكذلك الحال بالنسبة لنمو قارة أوربا حول الكتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسى، ونمو قارة آسيا حول كتل سيبريا والصين والدكن، ونمو قارة أستراليا حول كتل غرب أستراليا، ونمو قارة أفريقية حول كتلة جنوب أفريقية.

5. انتشار بقايا السهول التحاتية القديمة:

حيث إن التكوينات الصخرية للكتل القارية ظهرت فوق سطح الأرض منذ فترات جيولوجية بعيدة، فان عوامل التعرية عملت على تعرية أسطح هذه التكوينات، وأزالت المحدبات، ونجحت في النهاية من أن تكون سهولاً تحاتية قديمة العمر الجيولوجى. ومما ساعد على عظم امتداد السهول التحاتية فوق تلك الكتل القارية عدم تأثرها بحركات رفع تكتونية تؤدى إلى تغيير المظر التضاريسى لسطح الأرض، ومن ثم فقد عملت عوامل التعرية بحرية تامة في تشكيل المظهر التضاريسى العام لاسطح الكتل القارية، ولا يتوقف مجموعات السهول التحاتية في الكتل القارية على تلك السهول الحديثة النشأة والتي تظهر بقاياها على سطح الارض وتشكل المظهر العام لسطح الكتل القارية، بل كذلك هناك الكثير من بقايا السهول التحاتية القديمة التي ترجع إلى الزمن الجيولوجى الثاني، وتوجد مدفونة Exhumed أسفل التكوينات والارسابات الحديثة. وتكتشف بقايا السهول التحاتية القديمة عند ازالة بعض أجزاء من الارسابات الحديثة التي تتراكم فوقها.

ومن بين أظهر بقايا السهول التحاتية القديمة التي يعزى بعضها إلى الزمنين الجيولوجيين الاول والثاني، تتمثل في القسم الجنوبى الغربي من الكتلة البلطية، والقسم الشمالى من كتلة سيبريا. وقد أوضح الاستاذ لاستر كنج L. C. King بأن أعظم بقايا السهول التحاتية القديمة العمر الجيولوجى وأكثرها انتشارا تتمثل في القسم الجنوبى من كتلة افريقية. وحسب دراسات لاستر كنج تبين أن هناك بقايا لسهل تحاتى قديم تكون خلال العصر الكربونى فوق كتلة جندوانا، وأطلق

عليه اسم ما قبل الكـارو Pre – Karoo Surfacs، ولا تـزال معظـم بقايـا هـذا السهل التحاتى مدفونة أسفل التكوينات الصخرية الاحدث عمراً.

وقد عثر كنج فوق بعض أجزاء من بقايا هــذا السـهل القديـم علـى أدلـة جيولوجية تثبت تشكيلة بفعل جليد العصر الكربونى، واوضـح كنـج بـان أقـدم السهول التحاتية في كتلة جنوب أفريقية هو سهل جندوانا Gondwana Surface، ويتراوح منسوبه فيما بين 5000–7000 قدم فـوق مسـتوى سـطح البحـر الحـالي وتمتد بقايا هذا السهل القديم في باسوتولاند. وقد كان هذا السهل جزءا من قارة جندوانا القديمة. كما ميز كنج كذلك مجموعة اخرى من بقايـا السـهول التحاتيـة القديمة في كتلة جنوب افريقية، وأطلق عليها اسم سـهل مـا بعـد جندوانـا Post Godwana Surface، وتتمثل بقايا هذا السهل الاخير علـى ارتفـاع 2500–4000 قدم فوق مستوى البحر الحالي.

ولما كانت هناك أجزاء واسعة من بعض الكتل القارية القديمة تتمـيز بعظـم استواء سطحها وانخفاض منسوبها بالنسـبة لمسـتوى سـطح البحـر، فقـد تـأثرت الاجزاء الساحلية منها كثيراً بفعل طغيان البحر عليـها، ولم تقتصـر عمليـة تقـدم البحر على بعض أجزاء من تلك الكتل خلال العصور القديمة، بل كذلك خـلال عصر البلايوستوسين. فقد اكدت الدراسات الجيولوجية بأن القسم الشـمالي مـن كتلة سيبريا، وكتلة الرصيف الروسى وأجزاء واسعة من الكتلة البلطية، والقســم الشمالى من الكتلة اللورنشية كانت كلها عبارة عن رفـارف قاريـة Continental Shelves خلال الفترات الدفيئة الاولى من عصر البلايوستوسين وتبعا للانخفاض التدريجي الذي تعرض له مستوى سطح البحر منذ نهايـة عصـر البلايوستوسـين انحصرت مياه البحر عن هوامش الكتل القارية وتركت فوقها فرشات واسعة من الرواسب البحرية.

6. الحركات التكتونية في الكتل القارية:

تبعا لعظم صلابة صخور الكتل النارية القديمـة فـلا ينجـم عـن عمليـات الرفع التكتونية فيها تجعـد قشـرة الارض وثنيـها أو طيـها علـى شـكل سلاسـل

جبلية. ومن ثم لا تتمثل مظاهر الالتواءات الالبية الحديثة (الميوسينية) في أجزاء هذه الكتل المستقرة. ولكن ليس من الصواب أن نعتقد بأن الكتل القارية لن تتأثر بالحركات التكتونية أو لم تتأثر بها اطلاقا وذلك لما يلي:

أ. قد ينجم عن بعض الحركات التكتونية الحديثة التي تعمل على ضغط وشد أجزاء من الكتل القارية القديمة تكوين مناطق تأثرت بشدة فعل التصدع Faulting، أو بمعنى آخر فان الاجزاء الصلبة من صخور الكتل القارية عندما تتعرض للصدوع وزحزحة الطبقات أكثر من تعرضها للالتواءات أو تكوين ثنيات محدبة ومقعرة.

ومن أظهر المناطق الصدعية في الكتل القارية القديمة، صدوع الاخدود الافريقي العظيم في جنوب وشرق قارة افريقية. وادت هذه الصدوع المركبة العظمى إلى تكوين الاغوار الحوضية الصدعية. والهضاب البارزة الصدعية. والصدوع السلمية العظمى في اقليم بحيرة بيكال بكتلة سيبريا. والصدوع العظمى من منطقة شمال بحر قزوين ومنطقة اكرانيا بكتلة الرصيف الروسى.

ب. قد تتداخل المصهورات النارية في تكوينات الكتل القديمة خلال عصور جيولوجية مختلفة. وتظهر اما على شكل عروض وسدود نارية كما هو الحال في بعض أجزاء من الكتلة اللورنشية وكتلة جنوب افريقية في باسوتولاند. أو على شكل قباب الباثوليت العظمى كما هو الحال في قباب الباثوليت بكتلة غرب استراليا. وتظهر أحيانا على شكل طفوح وفرشات هضبية بازلتية كما هو الحال في القسم الشمالي من كتلة الدكن.

جـ. تعرضت معظم أجزاء الكتل القارية القديمة لحركات رفع تكتونية أدت إلى تكوين سلاسل جبلية قديمة العمر الجيولوجى (ينتمى معظمها إلى الحركة الكارنية فيما قبل الكمبرى) وعملت عوامل التعرية خلال الفترات الجيولوجية الطويلة على تشكيل هذه المرتفعات وتسويتها. فخلال فترة ما قبل الكمبرى تعرضت الكتل اللورنشية لحركات رفع تكتونية من بينها ما يعرف باسم الحركة اللورنشية Laurenian، والحركات الكيواتية Keewatin. وتأثرت الكتلة البلطية

وكتلة الرصيف الروسى بحركات رفع تكتونية قديمة تعرف باسم الحركة اللويزية Lewisian والحركة المارلبية Marealbian وحركة جوثيك Gothic. ومن بين الحركات التكتونية لفترة ما قبل الكمبرى التي تتأثر بها كتلة جنوب أفريقية حركة سوازى لاند Swazilan وحركة سيراليون Sierra Leone.

7. الكتل القارية القديمة وأثرها في تشكيل اتجاه السلاسل الالتوائية الالبية الحديثة:

ان كانت الكتل القارية القديمة المستقرة لم تتأثر بحركات الرفع التكتونية الميوسينية، ولم ينتج فيها ملامح واضحة للسلاسل الجبلية الالبية. فان كتل صخورها الصلبة لها بعض الاثر في تشكيل اتجاه بعض السلاسل الالتوائية الالبية فمن دراسة التوزيع الجغرافى لهذه السلاسل الجبلية الاخيرة يتضح أن معظمها يتخذ شكل أقواس تحيط بهوامش الكتل القارية الصلبة. ففى أمريكا الشمالية تمتد السلاسل الجبلية الميوسينية على شكل أقواس حول القسم الغربى من الكتلة اللورنشية وتعرف هنا باسم مرتفعات ماكينزى Mackenzie وسلاسل الروكى Rocky وتمتد مرتفعات الانديز على شكل قوس عظمي حول الاطراف الغربية لكتلتى جيانا والبرازيل. وتمتد مرتفعات اورال والكربات والالب في قارة اوربا حول كتلة الرصيف الروسى. اما في قارة آسيا فتمتد السلاسل الالبية الميوسينية ومنها مرتفعات تيان شان حول الاطراف الجنوبية لكتلة سيبريا. وتمتد الاقواس العظمى للهيملايا إلى الشمال من كتلة الدكن، وعندما تقابل سلاسل الهيملايا كتلة الصين الصلبة في الشرق، تنحرف على شكل اقواس جبلية عظمى تمتد من الشمال إلى الجنوب في منطقة اعالى انهار سالوين وميكونج، وتعرف هنا باسم سلاسل اركانيوما وباسم سلاسل دوانا في شمال شبه جزيرة الملايو، وبسلاسل سومطرة في جزيرة سومطرة.

الكتلة اللورنشسية القديمة.

تشغل الكتلة اللورنشية Laurentian Shield أو كما يطلق عليها أحيانا اسم الكتلة الكندية نحو نصف مساحة قارة أمريكا الشمالية بل تمتد أبعادها

شمالا وتضم مجموعة جزر الارخبيل الواقعة إلى شمال خليج هدسن ومعظم أجزاء جزيرة جرينلند، وتمتد الكتلة جنوبا على شكل قوس عظيم يحده خط من البحيرات الجليدية النشأة وتشمل من الغرب إلى الشرق بحيرات جريت بير Great Bear وجريت سليف Great Slave واتباسكا Athabasca ووينيبج Winnipeg ثم مجموعة البحيرات الخمس العظمى وتشمل بحيرات سوبيريو Superior ومتشجن Michigan وهورن Huron وايرى Erie وانتاريو Ontario ومعظم القسم الادنى من حوض نهر سنت لورنس.

وتعتبر الكتلة اللورنشية اصدق مثال لمجموعة الكتل القديمة جيولوجيا. فتتألف تكوينات هذه الكتلة من صخور ما قبل الكمبرى ومعظمها عبارة عن صخور رسوبية تعرضت لعمليات التحول، واصبحت تنتمى لمجموعة الصخور المتحولة، وتخللها جذور نارية لمرتفعات قديمة تم إزالتها بفعل عوامل التعرية كما يتداخل في بعض أجزاء هذه الصخور عروق وسدود نارية مختلفة، ولم تتأثر هذه الكتلة بحركات الرفع التكتونية الالبية الحديثة الا أنها تشكلت بالصدوع العظمى وخاصة بالجانب الشرقى منها في هضبة لبرادور. وتبعا لاستقرارها تكتونيا وشدة فعل عوامل التعرية لفترة جيولوجية طويلة تميزت الكتلة بعظم استواء سطحها، وقلة منسوبها وتكونت فيها سهول تحاتية قديمة. كما تشكل القسم الشمالى من الكتلة اللورنشية بتذبذب مستوى سطح البحر خلال عصر البلايوستوسين، وطغى البحر على جزء كبير منها وادى ذلك إلى تكون مجموعات جزر الارخبل إلى الشمال من خليج هدسن. كما عظم تشكيل سهول الكتلة اللورنشية القديمة بفعل الجليد البلايوستوسينى، وغطيت أجزاء واسعة منها بالركامات الجليدية. وتبعثرت فوقها الكثير من البحيرات الجليدية النشأة.

قد نمت قارة امريكا الشمالية حول الكتلة اللورنشية وأخذت مساحة القارة تزداد من فترة جيولوجية إلى أخرى نتيجة لإضافة مناطق جديدة من اليابس حول أطراف الكتلة القارية القديمة. ويمكن أن نلخص مراحل التطور الجيولوجى للكتلة اللورنشية وباليوجرافية قارة أمريكا الشمالية في النقاط التالية:

1. بعد أن انفصلت كتلة اركتس وتزحزت بعض بقاياها غربا أصبحت الكتلة اللورنشية عبارة عن قلب أمريكا الشمالية Heartlands أو نواتها المركزية. وتمتد منطقة النواة القديمة هذه من شبه جزيرة لبرادور Labrador في الشمال الشرقى إلى أراضى وايومنج Wyoming في الجنوب الغربى. وتتألف هذه المنقطة من صخور رسوبية ومتحولة قديمة ويتداخل فيها عروق وسدود نارية من الجرانيت ويتمثل فيها كذلك جذور جبلية نارية. ويتراوح عمر هذه التكوينات الصخرية من 2.0-2.8 بليون سنة. وترتفع نسبة السليكات في هذه التكوينات الصخرية القديمة وتقل فيها نسبة الكربونات.

وتشكلت الكتلة اللورنشية بحركات رفع تكتونية خلال الزمن الاركى أو الاوزوى Archaeozoic or Eozoic، وادى ذلك إلى تكوين سلاسل مرتفعات كورديليرا القديمة، وانكسترال، وسينسيناتى، ونيوبرونزويك. وقد تعرضت هذه المرتفعات لفعل عوامل التعرية الشديدة، كما أن بعض تكويناتها غطيت بالرواسب الأحدث عمراً.

وفي نهاية فترة البرنزوزوى Proterozoic (نهاية ما قبل الكمبرى) تعرضت الكتلة اللورنشية لحركات تكتونية أخرى تتمثل فيما يلي:

أ. فترة سدبريان Subbaryan وأدت إلى تكوين سلاسل جبلية.

ب. فترة هورنيان Huronian وأدت إلى حدوث نشاطات بركانية.

ج. فترة كويناوان Keweenawan وترسبت خلالها رواسب الحديد والنحاس في منطقة سوبيريرو.

2. بعد هذه المرحلة الأولى استقرت النواة القديمة تكتونيا، وتعرضت لفترة طويلة لفعل عوامل التعرية وتجمعت الكثير من المفتتات الصخرية حول النواة المركزية للقارة وتماسكت وكونت نطاقاً من الصخور العظمى، كما تداخلت فيها بعض التكوينات النارية الجرانيتية. ومن ثم تكون نطاق أراضى تشرشل Churchil (التي تشرف على خليج هدسن) والولايات الوسطى في أمريكا الشمالية. وتدخل أراضى تشرشل في بناء قسم كبير من الكتلة اللورنشية. في

حين غطت الصخور القديمة لمناطق الولايات الوسطى في الولايات المتحدة الامريكية برواسب أحدث عمراً ومع ذلك فقد تظهر بعض أجزاء من هذه الصخور القديمة العمر الجيولوجى فوق سطح الأرض اذا ما تعرضت لحركات رفع تكتونية كما هو الحال في الأطراف الشرقية الوسطى لسلاسل الكورديليرا، وتلال بلاك Black Hills، وجبال أوزارك Ozark Mts، وفي بعض أجزاء من حوض أخدود كلورادو العظيم. وتتألف صخور هذا النطاق من اللافا الحمضية الغنية بالسليكات، وصخور الأوكوز Arkoses، والجراى واكى Gray Wackes والدولوميت Dolomite ويتراوح عمرها الجيولوجى من 1.8-2.5 بليون سنة.

3. ثم جاءت بعد ذلك مرحلة جديدة أدت إلى بناء صخور منطقة جرنفيل Grenville والتي يرجع عمرها إلى نحو بليون سنة مضت. وتكون عند نهاية هذه المرحلة اكثر من 60٪ من جملة مساحة أمريكا الشمالية. وامتدت أراضى القارة من لبرادور في الشمال الشرقى إلى المكسيك في الجنوب الغربى. وتنتمى صخور جزيرة جرينلند إلى نفس هذه الحقبة من الزمن الجيولوجى. وأهم تكوينات هذه الفترة القديمة تتمثل في صخور رسوبية قديمة العمر الجيولوجي ويتداخل فيها عروق وسدود جرانيتية وبعض تكوينات الكوارتزيت كما تظهر بعض الحفريات المتناثرة في الصخور الرسوبية ومن أهمها مجموعة الطحالب الجيرية Calcareous Algae.

4. وبعد مرحلة جرنفيل بدأت فترة جديدة ترسبت خلالها كميات هائلة من المفتتات الصخرية الحطامية، وخاصة في منطقة البحيرات الامريكية. وتكونت في هذه المنطقة الأخيرة نطاقات واسعة من صخور الجمعات وخاصة صخور مجمعات جوجاندا Gowganda Conglomerate والتي تحتوى على كثير من الادلة التي تشير إلى حدوث عصر جليدي قديم خلال فترة ما قبل الكمبرى Cambrian Glaciation ويرجع بعض الجيولوجيين بأنه تكون في تكوينات الكتلة اللورنشية خلال تلك الفترة كثير من المعادن وخاصة الذهب في منطقة

اونتاريو ومنطقة كويبك وبعض خامات النيكل والنحاس واليورانيوم المبعثرة في مناطق مختلفة.

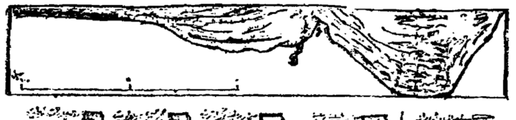
5. ثم بامتلاء الاحواض الجيولوجية البحرية القديمة Geosynclines بالرواسب خلال الزمنين الثالث والرابع، وتعرض هذه الرواسب الهائلة الحجم لحركات الرفع التكتونية في الزمن الثالث تكونت سلاسل الكورديليرا العظمى والتحمت مع الكتلة اللورنشية، وظهرت أبعاد القارة بشبه مساحاتها الحالية وفي عصر البلايوستوسين تشكلت سواحل القارة بظواهر جيومورفولوجية مختلفة نتيجة لتذبذب مستوى سطح البحر من فترة إلى اخرى، كما عمل جليد عصر البلايوستوسين هو الآخر على تشكيل المظهر التضاريسى العام للكتلة اللورنشية خاصة، ولقارة أمريكا الشمالية عامة.

ثانياً: مناطق الضعف الجيولوجية غير المستقرة

أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة بان السلاسل الجبلية العظمة التي تظهر بارزة فوق سطح الارض اليوم، قد ترسبت موادها وصخورها (قبل تعرضها لعمليات الرفع التكتونية) في أحواض بحرية تكتونية عظمى تعرف باسم Geosynclines ويعد الجيولوجي الأمريكي جيمس هول James Hall أول من أشار علمياً إلى هذه الحقيقة، حيث تبين أن سمك كل من الطبقات الصخرية المختلفة في المناطق الجبلية الالتوائية أعظم بكثير من سمك نفس هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية المجاورة. وأوضح هول بأن الصخور العليا من الزمن الجيولوجي الأول بمرتفعات الابلاش يبلغ متوسط سمكها نحو أربعة أضعاف سمك نفس هذه الصخور بالسهول الساحلية الشرقية لامريكا الشمالية. وقد أكدت الدراسات الجيولوجية الحديثة كذلك بأن سمك كل من مجموعات الطبقات الصخرية في مرتفعات الالب الروكى والانديز والهيملايا والاورال يتراوح عادة من 6 إلى 9 أميال، في حين لا يزيد سمك كل من نفس هذه المجموعات الصخرية ولكن بالاراضى السهلية المجاورة عن بضعة آلاف من الأقدام فقط.

ومن دارسة التركيب الجيولوجى للطباقات الصخرية بالمناطق الجبلية الالتوائية ومقارنتها بنظائرها في المناطق المنخفضة السطح، تبين أن الأولى تتميز كذلك بعظم تجانس الصخور في الأجزاء الوسطى من كتلتها، في حين تتشكل جوانبها بمتفتتات صخرية رملية وصلصالية ومواد حطامية وصخور المجمعات وكلها نتجت اساسا تبعا لتعرض الصخور الأصلية لعوامل التعرية عند اطرافها الهامشية. كما تتميز الطبقات الصخرية الرقيقة السمك في المناطق غير الالتوائية بعدم تجانس كبير بين أجزاء صخورها المختلفة. (شكل 3)

بالاضافة إلى هذه الملاحظات السابقة تبين أن الحفريات الممثلة في الطبقات الصخرية الواحدة تختلف عائلاتها كذلك إذا ما كانت في الصخور السميكة الالتوائية أو بصخور المناطق السهلية الرقيقة السمك.



شكل (3) الأحواض الجيولوجية العظمى وتجمع الرواسب العظيمة السمك فوق قاعها. وتتميز هذه الرواسب كذلك بتجانسها وحفرياتها من نوع تلك التي تعيش في المياه العميقة كما قد يتداخل في تلك التكوينات مصهورات نارية.

فعائلات الحفريات في الصخور الأولى تتميز بكونها من الأنواع التي تعيش في المياه العميقة بينما في الثانية تعد من الكائنات التي كانت تعيش في المياه الضحلة.

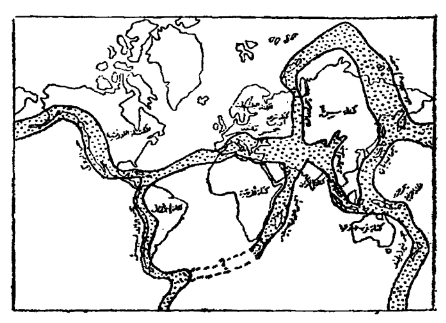
وتبعا لهذه النتائج المختلفة تأكد الجيولوجيون بان الصخور الالتوائية العظيمة السمك تجمعت أصلا في أحواض بحرية تكتونية عظيمة العمق Geosynclines وتراكمت فيها الرواسب الصخرية بصورة تدريجية، ثم تعرضت بعد ذلك لعمليات الرفع التكتونية التي أدت إلى ظهورها على شكل سلاسل جبلية عظيمة الارتفاع، وفي نفس الوقت تتركب من طبقات صخرية عظيمة

السمك بالنسبة لنفس نوع هذه الطبقات الصخرية بالمناطق السهلية الـتي لم تتـأثر بحركات الرفع التكتونية.

ويرجـع الفضـل كذلـك إلى الاسـتاذ الجيولوجـي هـوج Haug في تحقيــق دراسات هول Hall وتفسير نشأة السلاسل الجبلية وكيفيــة تطـور نموهـا. وكـان للدراسات التي قام بها كل من بيلى Baiey عــام 1935، ودالى Daly عـام 1928. امجروف Umbgrove عام 1947 الفضل الكبير في تعديل آراء هول Hall، وتفسير بنية القشرة الأرضية ونشأة السلاسل الجلبية وايضاح مراحل نموها.

وقد أوضح هوج Haug من نتائج دراسته لســمك الصخـور الارسـابية في البحار الجيولوجية القديمة. ومجموعات الحفر التي تتمثل فيــها، بـأن هـذه البحـار كانت تمتد علـى شـكل ألسـنة طويلـة محـدودة الاتسـاع الا أنـها عظيمـة العمـق والطـول وتحيـط بـالكتل القاريـة القديمـة (شـكل 4) ومـن أظـهر هـذه البحــار الجيولوجية القديمة بحر تشش التي تتمثل بقاياه في البحر المتوسط وكان يفصل بين الكتل القارية في أوربا شمالا وكتلة أفريقية جنوبا، ويطلق علـى القســم الشـرقى منه بحر الهيملايا، وكـان يفصـل بـين كتلـة سـيبريا في الشـمال وكتلـة الدكـن في الجنوب. وفي الامريكتين كان يمتد بحر الروكى – الانديز الجيولوجي العظيم، وقد كان بحرا طوليا يشغل القسم الغربى مـن القـارتين. ومـن بـين البحـار الجيولوجيـة القديمة الاخـرى بحـر أورال الـذي كـان يفصـل بـين كتلـة سـيبريا شـرقا وكتلـة الرصيف الروسى غربا، وبحر موزمبيق وجزر الهند الشرقية.

وبعد أن تجمعت كميات هائلة مـن الرواسـب فـوق أرضيـة تلـك البحـار الجيولوجية القديمة تعرضت لحركـات رفـع تكتونيـة عظمـى، أدت إلى رفـع قـاع المحيطات القديمة واثناء الطبقات الارسابية العظمى والتوائها على شكل سلاســل جبلية عالية. وقد عظمـت تلـك الحركـات التكتونيـة خـلال الزمـن الجيولوجـى الثالث، وأدت إلى تكوين مجموعة السلاسل الجبلية الالبية التي كانت بمثابـة مـواد لاحمة ضمت أجزاء الكتل القاريــة مـع بعضـها البعـض وأدت إلى نمـو القـارات بشكلها الحالى، وتشكيل المظهر التضاريسى العام لسطح قشرة الأرض.



شكل (4) الكتل القارية القديمة والبحار الجيولوجية القديمة التي تمتلك مناطق ضعف جيولوجية هامة كما وضحها الاستاذ هوج.

وعلى ذلك لخص الاستاذ ولدريدج مراحل نمو السلاسل الجبلية في ثلاثة أدوار هي:

1. مرحلة تكوين الرواسب في قاع البحار الجيولوجية القديمة وتعرف باسم Period of Lithogenesis.
2. مرحلة تشكيل هذه الرواسب العظيمة السمك بفعل حركات الثنى Folding والتصدع Faulting وتعرف باسم Period of Orogensis.
3. مرحلة تعرض السلاسل الجبلية بعد ظهورها على سطح الارض لفعل عوامل التعرية وتعرف هذه المرحلة باسم، Period of Glyptogensis.

حركات الرفع التكتونية العظمى خلال الزمن الجيولوجي الطويل:

يتضح مما سبق أن هناك أجزاء واسعة من القشرة الأرضية ظلت ثابتة مستقرة طوال فترات العصور الجيولوجية المختلفة وهي التي سميت باسم (الكتل القارية) في حين تشكلت المناطق الحوضية البحرية العظمى والتي تجمعت فيها كميات عظيمة من الرواسب بحركات رفع تكتونية خلال فترات مختلفة من

التاريخ الجيولوجى أدت إلى بناء السلاسل الجبلية التي نراها تشـكل علـى سـطح الأرض اليوم.

ولا يتوقف تأثير حركات الرفع التكتكونية على السلاسـل الجبليـة العاليـة التي نراها فوق سطح الأرض اليوم. بل هناك آثار لحركـات تكتونيـة قديمـة جـدا (خلال فترة ما قبل الكمبرى) عملـت عوامـل التعريـة علـى تشـكيل مظـهرها، وإزالة محدباتها وثنياتها واصبحت تبدو على شكل سهول عظمى، وتمثل نطاقات واسعة من الكتل القارية القديمة. وعلى الرغم من تعرض هذه السلاسل الجبليـة القديمة لفعل عوامل التعرية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجي، وأصبحـت تظهر على شكل سهول عظمى، الا أن تركيبها الجيولوجـى لا يـزال يـدل علـى مظهرها الأولي القديم، ويمكن للباحث الجيولوجـي أن يـدرك الصـورة الأصليـة لمثل هذه التكوينات الالتوائية القديمـة، عنـد دراسـته للـتركيب الصخـرى وبنيـة طبقات تلك المناطق.

وفيما يلي عرض موجز عن طبيعة الحركات وما سببته في تشـكل القشـرة الأرضية.

أ. التواءات ما قبل الكمبرى **Pre – Camberian Orogenesis**:

تعد صخور ما قبل الكمبرى النواة التي تركزت عليها الصخـور الاحـدث عمرا والتي تكونت حولها القارات المختلفة. وتتركب تكوينات هذه الفـترة عامـة من الصخور الرسوبية، الا أنه تبعا لعمرها الجيولوجـى البعـدي تعرضـت كثـيرا لعمليات التحول الصخرى، ومن ثم أصبحت صخور هذه الفترة تتـألف أساسـا من النيس والشيست والاردواز والرخـام والكونجلومـرات (صخـور الجمعـات) القديمة العمر الجيولوجى.

وظل الجيولوجيون يعتقدون بان أولى الحركات التكتونية التي انتابت قشـرة الأرض حدثت في النصف الاخير من الزمـن الجيولوجـى الاول. ولكـن أكـدت الدراسات الجيولوجية في أقاليم شـارنود فورسـت Charnwood Forest وتـلال مالفرن Malvern Hills، ومرتفعات جرامبيان Grampians في الجـزر البريطانيـة،

على أن هذه المرتفعات قديمة العمر الجيولوجي وتكونت جذورها خلال بداية العصر الكمبرى. وأطلق الجيولوجيون على هذه الحركة التكتونية القديمة اسم الحركة الكارنية Charnian Orogenesis.

وسرعان ما أكدت الدراسات الجيولوجية والسيسمولوجية الحديثة حدوث حركات تكتونية اقدم عمرا من الحركة الكارنية في أجزاء مختلف من القارات وتتمثل جذورها من القشرة الخارجية للارض وإن كانت أسطحها تشكلت تماما بفعل عوامل التعرية المختلفة. ويمكن حصر أهم هذه الحركات فيما يلي:

1. تعد أقدم الحركات التكتونية المعروفة الآن في أمريكا الشمالية تلك التي حدثت خلال الفترة من 2600 إلى 2400 مليون سنة مضت، وتعرف باسم الحركة اللورنشي Laurentian، والحركة الكيواتية Keewatin، ويقابل هذه الحركات التكتوينة في أوروبا، الحركة اللويزية Lewisian، والحركة المارلبية Marealbian.
2. أكدت الدراسات الجيولوجية وجود تشابه كبير بين الحركات التكتونية القديمة في جنوب أفريقية وغرب أستراليا وشبه القارة الهندية. وقد تشكلت هذه المناطق القارية جميعا بحركات تكتونية عنيفة خلال الفترة من 3200 إلى 2600 مليون سنة مضت. وأهم هذه الحركات التكتونية في افريقية هي حركات سوازى لاند Swazilard، وسيراليون Sierra Leone، وبولاوايان Bulawayan وروديسيا Rhodesia.
3. وتميزت الفترة من 2400 إلى 2000 مليون سنة مضت بهدوء قشرة الأرض نسبيا، ولكن الفترة 1800 إلى 1500 مليون سنة مضت انتابت قشرة لارض حركات تكتونية عظيمة من جديد، وعرفت في أمريكا الشمالية باسم حركات أتباسكا Athabasca، والهورنية Haronian، والسد برية Sudbury. ويقابل هذه الحركات التكتونية في أوروبا حركات اكرانية الصغرى Younger Ukrainian والسفوكونفية Svcofennian، والكارلية Karelian.

4. ومنذ نحو 1000 مليون سنة مضت تعرضت قشرة الأرض لحركات تكتونية من جديد، كان أهمها من أمريكا الشمالية حركة جرنفيل Grenveille، وفي أوربا حركة جوثيك بالنرويج Gothic وفي افريقية حركة كيبارن Kibaran وفي الهند حركة ستبورا Satpura.

ب. الالتواءات الكاليدونية Caledonlan Orogeneis:

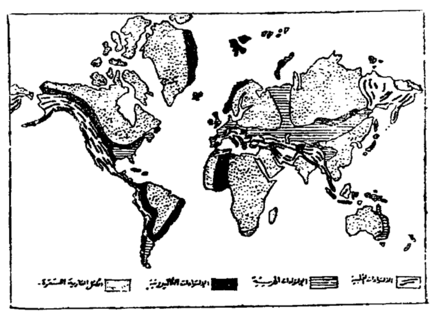
شغلت هذه الالتواءات الفترة الجيولوجية الممتدة فيما بين السليورى والديفونى. واشتق اسمها من مرتفعات كاليدونيا في اسكتلندا والتي تمثل أحسن أمثلة هذه المجموعة من الالتواءات القديمة. وقد أكدت الدراسات الجيولوجية تشابه نظام البنية والتركيب الجيولوجى بين كل من تكوينات اسكتلند، وشبه جزيرة اسكنديناوة، مما جعل بعض الجيولوجيين أن يرجح بأنهما كانتا ارضا واحدة ثم هبطت بعض أجزائها وشغل بحر الشمال تلك الأراضي الهابطة.

ومن ثم تمتد سلاسل الحركة الكاليدونية في شمال غرب أوربا في اتجاه عام من الجنوب الغربى إلى الشمال الشرقى، وتظهر مرتفعاتها في جزيرة ايرلند، واسكتلند، والقسم الشمالي من انجلترا، وشمال ويلز، والقسم الغربي من شبه جزيرة اسكنديناوة وخاصة في مرتفعات اسكنديناوة. ويحد هذه الجبال الاخيرة خط بحيرات جلينت Glinte Line الذي يفصل بين مناطق المرتفعات الالتوائية الكاليدونية والكتلة البلطية القارية القديمة.

أما في قارة أسيا فتظهر نتائج الالتواءات الكاليدونية في بعض أجزاء من مرتفعات سيبيريا وخاصة مرتفعات كوليما في الشمال الشرقى ومرتفعات جنوب بحرية بيكال ومرتفعات بوريات Buryat، ومرتفعات سايان Sayan التي تشغل الحوض الأعلى لنهرى أوكا وانجارا، وفي السلاسل الجبلية التي تتمثل على الجانب الشرقى من الحوض الاوسط لنهر لينا. وتظهر السلاسل الجبلية الكاليدونية في أفريقيا خاصة في الصحراء الكبرى بمنطقة مرتفعات جورارة. كما تظهر في مرتفعات جنوب شرق استراليا في ولاية نيوسوث ويلز. أما في أمريكا الشمالية فتمتد الالتواءات الكاليدونية في هضبة بيدمنت والسفوح الجنوبية

الشرقية لمرتفعات الابلاش، وفي المناطق الهضبية الغربية الممتدة بين أقليم نيو انجلند حتى إقليم فرجينيا.

وقد صاحب الحركات التكتونية الكاليدونية ثورانات بركانية عظمى أدت إلى تكوين نطاقات كبرى من السدود الرأسية والعروق والبراكين. وترجع التكوينات اللافية التي تتمثل تحت قاع المحيط امام سواحل كورنول وديفون وكذلك بعض القمم الجبلية البركانية (بن نفيس Ben Nevis – جلين سوى Glen Coe – أوبان Oban – سيدلو Sidlaw اوشيل Ochil) في بريطانيا الى الثورانات البركانية الكاليدونية (شكل 5).



شكل (5) المناطق المستقرة (الكتل القارية القديمة) وغير المستقرة من قارات العالم (مناطق الالتواءات الكاليدونية والهرسينية والالبية).

جـ. الالتواءات الهرسينية **Hercynian Orogenesis**:

حدثت هذه الحركات التكتونية خلال فترة طويلة من الزمن الجيولوجي امتدت من العصر الفحمي أو الكربوني Carboniferous حتى بداية العصر البرمي Permian. ومن ثم لم تحدث هذه الحركات على دفعة واحدة بل ظهرت دورتها خلال مراحل متعاقبة فيما بين هذين العصرين. ويطلق على هذه الحركة

الالتوائية العظمى أسماء متعددة منها الحركات الارموريكية Armorican وخاصة في الجزر البريطانية وفرنسا، في حين يطلق عليها اسم الحركات الهرسينية Hercyniau أو الحركات الفارسكية Variscan في بقية أجزاء أوربا.

وقد أكدت الدراسات الجيولوجية بأن الحركة الهرسنية صاحبها كثير من عمليات التصدع الشديدة. وشكلت الصدوع المركبة الطبقات الصخرية التي تعرضت للانثناء والالتواء. وشكلت الصدوع المركبة الطبقات الصخرية التي تعرضت للانثناء والالتواء. ومن ثم نجحت عوامل التعرية في ازالة الكثير من تكوينات هذه الصخور وخاصة على طول اسطح الصدوع وفي مناطق الضعف الجيولوجي وأصبحت تبدو اليوم على شكل هضبات صدعية مضرسة.

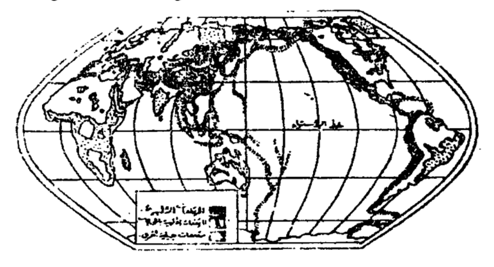
وتمتد نتائج الالتواءات الهرسينية في قارة أوربا إلى الجنوب من نطاق الالتواءات الكاليدونية على شكل هضيبات صدعية متوسطة المنسوب فوق سطح البحر الحالي. ومن بين أظهر هذه الهضبات كورنول Cornwal في جنوب غرب انجلترا. والقسم الغربي من هضبة المزيتا في شبه جزيرة ايبريا، وهضاب فرنسا الوسطى إلى الغرب من ليون (او فرن Auvergne – كليرمون فرا Clermont Ferrand – سفن Cavennes). ومرتفعات بريتانى في غرب فرنسا، ومجموعة الهضاب الصدعية الوسطى في أوربا وخاصة هضاب الفوج Vosges والغابة السوداء، وبوهيميا، والسوديت، وتاترا Tatra في تشيكوسلوفاكيا، وهضاب مكيفكا Makeyevka المتوسطة الارتفاع إلى الشمال من بحر آزوف Azov في الاتحاد السوفيتي. أما في قارة آسيا فتتمثل أهم الطبقات والمرتفعات الهرسينية في المناطق المرتفعة من الصين الداخلية وخاصة مرتفعات ألتاى Altai حول حوض زرنجاريا، ومرتفعات سايان Sayan Mts، ومرتفعات خنجان Khingan ويابلونوى Yablonovy حول حوض شامو Shamo (جوبى Gobi) ومرتفعات ستانفوى Stanovoy وتعد أجزاء واسعة من مرتفعات شرق أستراليا في قارة استراليا وبعض أجزاء مرتفعات الابلاش الشمالية تابعة للحركات الهرسينية. أما في أمريكا الجنوبية فتظهر نتائج هذه الحركة في مرتفعات بتاجونيا،

وفي أفريقية قد تعد بداية نشأة مرتفعات دراكنزبرج تابعة لهذه المرحلة الا أن هـذه المرتفعات الأخيرة بلغت أعظم مراحل نموها خلال الزمن الثالث.

د. الالتواءات الألبية **Alpine Orogenesis**:

تعتبر أحدث الحركات التكتونية الـتي تعرضـت لهـا قشـرة الأرض خـلال الزمن الجيولوجى الطويل، وامتدت دوراتـها مـن نهايـة الزمـن الثـاني، وبلغـت أعظم قوة لها خلال عصر الميوسين في الزمـن الجيولوجـى الثـالث. وعلـى ذلـك يقسم الجيولوجيون المراحـل الثانويـة الـتي أدت إلى تكـون السلاسـل الالبيـة إلى مراحل ما قبل الزمن الثالث، وكانت الحركة الالتوائية في بدايتها وتميزت بضعفها العام، ثم مرحلة عصر المسيوسين الذي عظمت خلاله درجة نمو هـذه السلاسـل الالتوائية، ثم نهاية مرحلة نمو السلاسل الالتوائية بنهاية عصر الميوسين.

ومن دراسة التوزيع الجغرافي للسلاسل الجبلية الالبية في العالم يتضـح أنـها تتكون على شكل أقواس عظمى حول الكتل القارية القديمة، وتظهر في اتجـاهين مختلفين (شكل 6) ففي العالم القديم تمتد هذه السلاسل الالتوائية في اتجاه عام من *الغرب إلى الشرق أما في الامريكتين فتمتد من الشـمال إلى الجنـوب وقـد حـاول* فجنر Wegener ودالى Daly، وتايلور Taylor تفسير اختلاف اتجاه الامتداد العام للسلاسل الالتوائية وذلك عن طريق زحزحة الكتل القارية القديمة من



شكل (6) السلاسل الجبلية الالتوائية واختلاف اتجاهاتها في قارات العالم.

مناطق القطبين نحو خط الاستواء ونتج عن ذلك تكوين السلاسل الجبلية العرضية (الغربية الشرقية) في حين نتج عن زحزحة الامريكتين غربا تكوين سلاسل الكورديلرا - الانديز الطولية (الشمالية - الجنوبية)

وقسم الاستاذ ولدريدج Wooldridge السلاسل الجبلية الالبية في القارة الاوروبية إلى مجموعتين هما:

أ. المجموعة الالبية الرئيسية، وتشمل من الغرب إلى الشرق مرتفعات أطلس الساحلية في شمال غرب أفريقية وسيرانيفادا على الجانب الجنوبي لحوض الاندلس في أسبانيا، ومرتفعات البرانس في أسبانيا، ثم ينتمي إلى هذه المجموعة مرتفعات الالب العظمى (الغربية والوسطى والشرقية) وتمتد السلاسل غربا لتضم أقواس مرتفعات ترانسلفانيا والكربات، وإلى الجنوب من مرتفعات ترانسلفانيا تمتد أقواس مرتفعات البلقان وردوب التي تظهر مكملاتها في شمال تركيا وتعرف باسم مرتفعات بنطس أو (كانيك) Canik.

ب. المجموعة الالبية الادرياتية: وتمتد جنوب المجموعة السابقة وتشمل من الغرب إلى الشرق قوس مرتفعات اطلس التل أو الصحراء، ومرتفعات الابنين وكلابريا في شبه جزيرة ايطاليا، وسلاسل مرتفعات كابلا Kapela وفاليبيت Velebit والالب الدينارية Dinara Planina في يوغوسلافيا وامتدادها في البانيا، ومرتفعات بندس Pindus في شبه جزيرة المورة في اليونان، وتمتد السلاسل الالبية شرقا لتشمل مرتفعات طوروس Taurus في جنوب تركيا.

أما في قارة آسيا فتلتقي مرتفعات بنطس ومرتفعات طوروس في عقدة أرمينيا. ومن هذه العقدة الجيولوجية العظمى تتفرع سلاسل جبلية عظمى أهمها سلاسل مرتفعات القوقاز فيما بين البحر الاسود وبحر قزوين، ومرتفعات البرزوهندكوس ومرتفعات زاجورس التي تنحصر بينها هضبة ايران، وتلتقي هذه السلاسل مع سلاسل سليمان في عقدة جيولوجية عظمى هي عقدة بامير. ومن هذه المنطقة الاخيرة تتفرع أقواس جبلية عظمى تتمثل في كون لون، وقره قورم والهيملايا وتحصر بينها هضبة التبت. ومرتفعات تيان شان وتحصر بينها حوض

تكلاماكان. ويلاحظ أن مرتفعات شرق التبت لا تتجه شرقا حتى تقابلها كتلة الصين الصلبة بل تتجه السلاسل على شكل أقواس نحو الجنوب وتعرف باسم سلاسل ماليبور، وسلال اراكانيوما، ثم باسم سلاسل دوانا في شبه جزيرة الملايو.

أما في أمريكا الشمالية، فتمتد أقواس المرتفعات الالبية من الجنوب إلى الشمال في المناطق التي يحتلها من قبل حوض البحر الجيولوجي القديم في غرب القارة. وتعرف الجبال في غرب المكسيك باسم سيراماديرا الغربية، ويمتد في شرق المكسيك سيرامادیرا الشرقية ويحصران بينهما هضبة المكسيك وفي الولايات المتحدة الامريكية يعظم اتساع السلاسل الجبلية وتشغل القسم الغربي من أراضي البلاد، وتعرف على الجانب الغربي المطل على المحيط الهادى باسم السلسلة الساحلية ومرتفعات سيرانيفادا، وامتدادها المعروفة باسم مرتفعات كاسكيدا، ومرتفعات وارنر، أما في الشرق فتظهر أقواس مرتفعات بيج هورن، ولارامى، وبارك، والروكى. وقد تأثرت هذه المرتفعات بصدوع عظمى، كما غطت المصهورات اللافية مناطق واسعة من هضة كولومبيا، وتحصر هذه السلاسل فيما بينها أحواض صحراوية مرتفعة المنسوب منها الحوض العظيم، وحوض نيفادا، وحوض واساتش، وحوض كلورادو، وحوض أريزونا وموجاف.

وفي القسم الغربي من كندا وبشبه جزيرة السكا تظهر مكملات هذه النطاقات الالبية العظمى وتعرف هنا بإسم السلسلة الساحلية كذلك ومرتفعات سانت الياس المطلة على خليج ياكوتات. وفي الشرق تعرف باسم مرتفعات ماكينزى، ومرتفعات كاسير وأومينسا، وتحصر هذه المرتفعات فيما بينها هضابا مرتفعة أهمها هضبة يوكن وهضبة أوجليفى.

أما في أمريكا الجنوبية فتمتد المرتفعات الالبية العظمى في غرب القارة في المنطقة التي كان يشغلها حوض بحر الانديز القديم. وتظهر هذه المرتفعات على شكل ثلاث شعب ثانوية تعرف باسم مرتفعات ماجدلينا Magdalena في كولومبيا، وسانتا مارتا Santa Marta على حدود كولومبيا - فنزويلا، ومرتفعات سانتا دى ماريدا St. De Merida في غرب فنزويلا، وتلتقى هذه الشعب الثلاث

جنوبا شمال منطقة بركان كوتوباكسى Cotopaxi في أكوادور، ثـم تتجه الجبال على شكل قوس عظيم يشرف على السـهول الساحلية الغربية الضيقة للقارة ويعظم اتساع نطاق الجبال في بوليفيا ويعظم ارتفاع القمم الجبلية جنوب بحيرة تيتيكاكا Titicaca حيث يبلغ بعضها نحو 21.490 قدم فوق مستوى سطح البحر الحالى. ثم تمتد سلاسل المرتفعات بعد ذلك في اتجاه شمالي جنوبي إلى أن تتلاشى في أقصى جنوب القارة بجزيرة النار (تيرادنفويجو) Tierra del Fuegu.

نشأة السلاسل الجبلية.

حاولت الدراسات الجيولوجية تفسير نشأة السلاسل الجبلية فوق سطح القشرة الأرضية والعوامل المختلفة التي تؤدى إلى ثني وطي القشرة الأرضية خلال العصور الجيولوجية. وعنيت تلك الدراسات بعدة نقاط هامة من بينها:

أ. معرفة العوامل التي تؤدي إلى ثني وطي أجزاء القشرة الأرضية وهل هذه العوامل ثابتة أم تتغير من زمن جيولوجى إلى آخر.

ب. تفسير المراحل الثانوية المتعاقبة لكل دورة التوائية كبرى ينجم عنها تكوين سلاسل جبلية عظمى، ومدى الارتباط بين هذه المراحل الثانوية في التكوينات الصخرية لقارات العالم.

جـ. تتابع حدوث الدورات التكتونية المكونة للجبال Orogenic Cycies خلال الازمنة الجيولوجية المختلفة، ثـم أسباب تباين التوزيع الجغرافي للنطاقات الالتوائية فوق سطح الأرض.

وأصبح من البديهى أن السلاسل الجبلية فوق سطح قشرة الارض ترتبط بعوامل داخلية تكتونية تحدث في باطن الأرض وتؤثر في تشكيل قشرة الأرض. على ذلك فانه يلزم على الباحث في هذا المجال أن يحصر أفكاره ونظرياته في تحديد العوامل الباطنية التي تؤدي إلى عدم استقرار مواد باطن الارض وأثر ذلك في نشأة الحركات التكتونية. وعرف الباحثون في البداية كذلك بأن باطن الأرض أعظم سخونة من مواد القشرة الخارجية للأرض، فانه لم يتعرض للبرودة الكاملة

بعد. ومن ثم فان الحرارة الباطنية Internal Heat قد تكون هي العامل المسؤول عن الاضطرابات التي تحدث في باطن الأرض.

وعلى ذلك اعتقد الباحثون في البداية بأن مواد باطن الأرض الساخنة في حالة شبه سائلة أو لزجة وتتعرض للبرودة التدريجية، وينجم عن ذلك انكماش مواد باطن الأرض وتقلصها، وتؤثر هذه العمليات في تجعد قشرة الارض الخارجية التي تنجذب إلى أسفل بفعل قوة الجاذبية الارضية أو بمعنى آخر تكوين الجبال في الثنيات المحدبة. وعرفت هذه النظرية القديمة باسم نظرية تقلص الأرض وانكماشها Contraction Hypothesis، ويعترض هذه النظرية ما يلي:

أ. تبعا لانكماش باطن الأرض مع استمرار البرودة التدريجية لموادها فكان لابد وأن تتشكل قشرة الأرض بحركات ثني وطي عامة تشغل جميع أجزاء سطح الأرض، ولكن يتضح من دراسة التوزيع الجغرافى للنطاقات الالتوائية بأن كلا منها له نطاق خاص محدد.

ب. إذا كانت تموجات قشرة الأرض وتجعدها تعزى إلى البرودة التدريجية المستمرة لمواد باطن الأرض وانكماشها، فكان ينبغى أن يكون الزمن الجيولوجى الفاصل بين الحركات الالتوائية الأحدث عمرا أطول بكثير منه في الحركات الالتوائية الأقدم عمرا، ولكن نجد في الواقع أن طول الزمن الجيولوجى الفاصل بين الحركات الالتوائية يختلف من دورة إلى أخرى. فيبلغ طول الزمن الجيولوجى الفاصل بين الحركة الكارنية والكاليدونية نحو 300 مليون سنة، وفيما بين الكاليدونية والهرسينية نحو 125 مليون سنة، وفيما بين الكاليدونية والهرسينية نحو 125 مليون سنة، وفيما بين الهرسينية والالبية نحو 225 مليون سنة. هذا ويلاحظ كذلك أن الحركة الالبية الاخيرة كانت أعظم قوة وأثرا عن الحركات التكتونية القديمة السابقة لها، في حين كان ينبغي وفقا لنظرية الانكماش التدريجي لباطن الأرض بفعل البرودة التدريجية المستمرة أن تكون الحركات التكتونية القديمة هي الأقوى والأعظم أثرا.

وهكذا أصبح لا يمكن قبول النظرية التقليدية القديمة لانكماش باطن الأرض علميا، كما أصبحت هذه النظرية مرفوضة علميا تماما بعد أن أكتشف اللورد رايليه Lord Rayleigh عام 1906 تأثير العناصر المشعة Radioactive Elements في توليد حرارة عظمى كامنة في الصخر. ومن بين مئات العينات الصخرية التي جمعت من قارات العالم المختلة وفحصها اللورد رايليه تبين أنه لم تخل عينة واحدة من تلك العناصر المشعة المولدة للحرارة. ومن ثم استنتج العلماء بأنه في الوقت الذي تتعرض فيه مواد باطن الأرض للبرودة التدريجية ولعمليات التقلص والانكماش، فانه في بعض أجزائها الاخرى يتولد فيها حرارة عظمى نتيجة لتفاعل العناصر المشعة. وأدت هذه المعلومات الجديدة إلى تعديل نظرية جديدة تعرف باسم نظرية التيارات الصاعدة أو نظرية آرثر هولمز الذي تبناها منذ عام 1931.

نظرية التيارات الصاعدة Convection Theory:

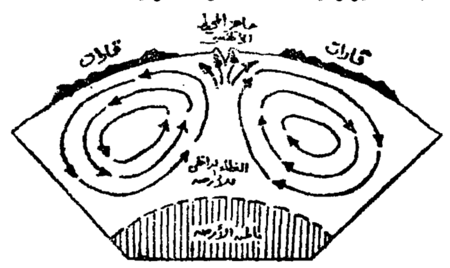
يقصد بالتيارات الصاعدة التيارات الحرارية الناتجة عن تفاعل العناصر المشعة مثل الثوريوم والرابيديون والبوتاسيوم والصوديوم، ويعظم تأثير هذه التيارات في مواد الأرض عندما تكون في حالة لزجة وشبه سائلة عنها في الصخور المتجمدة الباردة. وأكدت نتائج الدراسات الجيولوجية بأن مواد الأرض صلبة أو متجمدة حتى عمق 300 كم من السطح، ولكن فيما بعد هذا العمق تصبح المواد لزجة ومرنة Plastic وشبه منصهرة بفعل الحرارة الباطنية.

وقد عمل آرثر هولمز في جميع كتاباته على تحقيق نقطتين هامتين هما:

1. تجمع اليابس في المناطق القطبية وتكوين قارات قطبية Polar Continents، في حين يتكون في المناطق الاستوائية بحار عظمى Equatorial Oceans ويعزى السبب في ذلك إلى طبيعة حركة التيارات الصاعدة في المناطق القطبية والهابطة في المناطق الاستوائية.
2. يعظم تكون المواد المشعة في صخور الجرانيت، كما تعمل التيارات الحرارية أسفل التكوينات الجرانيتية وصخور السيال العظيمة السمك على رفع هذه التكوينات

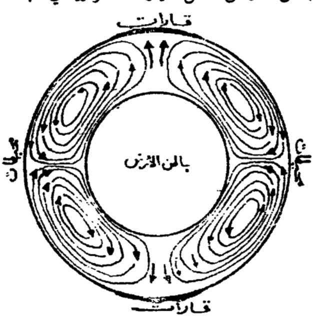
الأخيرة إلى أعلى وتكوين القارات، في حين يقل تأثير المواد المشعة في صخور السيما المحيطية. وعلى ذلك فتتكون أسفل المحيطات تيارات حرارية مساعدة أقل قوة من تلك أسفل القارات، وتتجمع التيارات الصاعدة في القسم الاوسط من المحيطات، ونتيجة لذلك تتكون الحواجز المحيطة ثم تنحرف التيارات في اتجاهين متضادين من أواسط المحيطات وتصبح تيارات هابطة على جانبي المحيطات (بعد برودتها) ويساعد ذلك على تكوين الأخاديد المحيطية (شكل 7).

وقد عمل على تحقيق دراسات هولمز كثير من الكتاب. فاهتم الباحث بيكريس Pekeris بدارسة اتجاهات وتحرك التيارات الحرارية الباطنية، وتنوع قوتها، وأثر ذلك في التوزيع الجغرافي لليابس والماء من ناحية وتكوين السلاسل الجبلية من ناحية أخرى. ويلاحظ بأن نتائج دراسات كل من هولمز، وبيكريس تتفق مع دراسات دالى Daly في نظريته عن انزلاق الارض Sliding of the continents، ومع دراسات فجنر Wegener في نظريته عن زحزحة القارات، حيث اتفق الجميع على أن اليابس كان متجمعا في المناطق القطبية وشغلت البحار الجيولوجية القديمة المناطق الاستوائية.



شكل (7) عظم تكوين التيارات الصاعدة تحت القارات وتكوين الحواجز المحيطية في أواسط المحيطات بفعل تيارات صاعدة أقل قوة. وتتميز أعالى تلك الحواجز بتشكيلها بمناطق حوضية عميقة.

ودرس بكريس طبيعة تحرك التيارات الصاعدة ورجح بأنـها تتحـرك بمعـدل بوصة واحـدة في العـام. ولكـن تبعـا لعظـم عمـر كوكـب الأرض. نجحـت هـذه التيارات في أن يكون لها نظام خاص يتضح من شكل (8) وتتغلغل هـذه التيـارات الصاعدة في مواد باطن الأرض كمثل التيارات الحرارية في طبقات الغلاف الجوى.



شكل (8) تحرك التيارات الصاعدة في باطن الأرض واثرها في تكوين القارات القطبية والمحيطات الاستوائية حسب دراسات بيكريس.

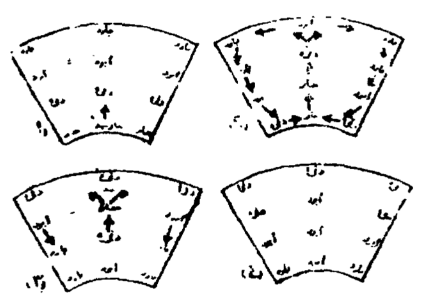
واوضح بيكريس كذلك بأن هذه التيـارات الصـاعدة يمكـن لهـا أن ترفـع قشرة الارض الخارجية إلى أعلى وينجم عن ذلـك تكويـن القـارات والسلاسـل والحواجز المحيطية، في حين تؤدي في مناطق أخرى إلى تكوين البحار والاحـواض عند هبوط التيارات في أسفل.

آراء الاستاذ جريجز **Griggs** والتيارات الصاعدة:

يعزي الفضل في انتشار نظرية التيارات الصاعدة إلى الابحاث التي قـام بـها الاستاذ جريجز D.T.Griggs. 1939 الامريكي الذي أخذ على عاتقـه تفسـير آراء الاستاذ هولمز البريطاني مؤسس نظرية التيارات الصاعدة.

أوضح جريجيز بأن مواد باطن الأرض ليست مرنة تماما كما تختلف درجة مرونتها من جزء إلى آخر. وعلى ذلك فلا تتحرك التيارات الصاعدة بحرية تامة في هذه المواد، كما تختلف سرعتها وقوتها من جزء إلى آخر. ورجح جريجز بان التيارات الصاعدة تبدأ ضعيفة Slowly، ثم تزداد حركتها Speed up بالتدريج إلى أن تصل إلى أعظم قوة لها Maximum، ثم تتعرض للبرودة بعد ذلك، وتضعف حركتها Slow down إلى أن تتلاشى نهائيا Stops، ولكن قد تعيد التيارات الصاعدة دورتها من جديد أو تعمل على بداية دورة جديدة قبل أن تتم الدورة الأولى مراحلها وذلك تبعا لنشاط العناصر المشعة. وميز جريجز أربع مراحل رئيسة للدورة الكاملة من دورات التيارات الصاعدة وتتلخص فيما يلي:

أ. المرحلة الأولى: تمثل بداية تكوين التيارات الصاعدة البطيئة الحركة Slowly accelerating currents. وتستغرق هذه العملية نحو 135 مليون سنة (شكل 9) وتتجه هنا التيارات من أسفل إلى أعلى أي من المناطق الساخنة إلى الاخرى الباردة.



شكل (9) مراحل دورة كاملة للتيارات الصاعدة

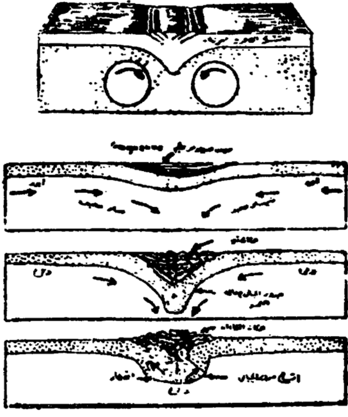
حسب دراسات الاستاذ جريجز Griggs.

ب. المرحلة الثانية: تمثل ازدياد سرعة التيارات الحرارية Rabid Currents وفيها تعظم حركة التيارات في القسم الاوسط من مواد باطن الأرض وتندفع إلى أعلى من المناطق الساخنة إلى المناطق الباردة، وعندها تتجه التيارات شرقا وغربا وتهبط إلى أسفل لتحل محل التيارات التي تصعد إلى أعلى وتستغرق هذه العملية من 5-10 مليون سنة (شكل 9-2).

جـ. المرحلة الثالثة: تمثل انخفاض سرعة التيارات الحرارية Decelerating Current، وفيها تتميز تلك التيارات بضعفها النسبي وقلة القوى الحرارية الدافعة لها. ومن ثم لا تصعد التيارات إلى أعلى نحو المناطق الباردة تماما كما كانت في المرحلة السابقة، بل لا تستطيع ان تتم دورتها العليا وتبدأ عمليات هبوطها إلى أسفل قبل أن تصل إلى المناطق الباردة العلوية. وتقتصر حركة التيارات الصاعدة في القسم الاوسط فقط من مواد باطن الأرض التي تعرضت للتفاعل الحراري الراديومى، أما الأطراف الهامشية فتكون شبه باردة وتستغرق هذه العملية نحو 25 مليون سنة. (شكل 9-3)

د. المرحلة الرابعة: وتمثل مرحلة التوقف التام لحركة التيارات الصاعدة Quiescence، وفيها تبرد مواد باطن الأرض، ويتلاشى فيها تماما تأثير تفاعل العناصر المشعة، وتصبح المناطق السفلية من تلك المادة التي تعرضت لهذه العمليات أبرد من المناطق العلوية. وتستغرق هذه العملية زمنا طويلا يقدر بنحو 500 مليون سنة. ولكن ينبغى أن نضع في الحسبان بأنه من الصعب أن تستقر مواد باطن الأرض بهذا الشكل خلال ذلك الزمن الجيولوجى الطويل دون أن تتجدد تفاعلات العناصر المشعة في مواد باطن الأرض من جديد (شكل 10).

وقد أوضح جريجيز نظريته عند تفسير قشرة الأرض الخارجية وتكوين جذور المرتفعات الجبلية في أشكال تصويرية توضيحية (شكل 10) وفي هذه الأشكال يرتبط نمو السلاسل الجبلية على سطح الأرض بمراحل دورات التيارات الصاعدة.



شكل (10) أثر التيارات الصاعدة في تكوين السلاسل الجبلية (الاشكال الثلاثة السفلية) أما المنظور العلوي فيوضح التيارات الصاعدة التي حدثت في مواد زيت محرك الاسطوانات والجلسرين في المعمل

كما حققت نتائج هذه النظرية بدراسة تجريبية عملية. فعند تسخين مواد جليسرين (ترمز إلى مواد باطن الأرض) يتكون فيها عند البداية موجات التيارات الصاعدة، وعند صعود التيارات إلى أعلى تؤثر على تشكيل المواد العلوية التي عملها جريجز من زيت محرك الاسطوانات المختلط مع الاتربة والرمال (ترمز إلى مواد قشرة الأرض) وتكون جذور المرتفعات كمثل تلك التي تحدث تماما في قشرة الأرض على الطبيعة. (المنظور الجسم العلوي من شكل 10) ولتحقيق نفس النتائج السابقة بصورة تجريبية عملية استخدم الاستاذ بول Bull A. J المطاط وعرضه لعمليات التسخين ومن ثم تكون فوق سطحه تجعدات محدبة ومقعرة بفعل تيارات حرارية صاعدة تكونت داخل مادة المطاط.

وقد استخدم كل من الاستاذ هيس Hess, H.H عام 1946، والاستاذ ديتز Dietz, R.s عام 1961، نظرية التيارات الصاعدة في تفسير تكوين الحواجز المحيطية العظمى Submarine Ridges في أواسط المحيطات بفعل التيارات الصاعدة وتكوين الخوانق المحيطية العظمى Deep Sea Trenches على جوانب المحيطات بتأثير التيارات الهابطة.

٥

الفصل الخامس

التراكيب الأولية في الصخور الرسوبية

الفصل الخامس

التراكيب الأولية في الصخور الرسوبية

الصخور الرسوبية:

تعزى نشأة الصخور الرسوبية إلى ثلاث عمليات رئيسية هي:

1. التجوية. 2. النقل. 3. الترسيب.

ولعوامل التجوية أثر كبير في تفتيت الصخور إلى حبيباتها المعدنية المكونة لها، وتعرف هذه العملية بالتفتت Disentegration وقد تتحلل بعض المعادن غير الثابتة كيميائياً خلال عملية التفتت وينتج عنها معادن أخرى، وتعرف هذه العملية بالتحلل الكيميائي فمثلا يتحلل معدن الفلسبار البوتاسى طبقاً للمعادلة الآتية:

2 بولوس$_3$ ا$_8$ + 2 يد$_2$ا + ك ا$_2$ =

(أرثوكليز فلسبار) (ا يد)4 لو$_2$ س$_2$ا$_5$ + بو$_2$ ك ا$_3$ + 4س ا$_2$ (كاولين)

وبذلك تكون نواتج عمليات التجوية إما مواد ذائية في الماء تنقل على هيئة محاليل أو مواد عالقة غير ذائية تنقل على هيئة فتات صخرى له أحجام مختلفة بواسطة المياه الجارية أو الرياح أو الثلاجات إلى الأحواض الترسيبية في بيئة قارية أو بحرية أو متوسطة مثل الدلتا ومصبات الأنهار، أما المواد الذائية فتنقلها المياه إلى البحيرات والبحار والمحيطات حيث تترسب بفعل العوامل الكيميائية أو نشاط الكائنات الحية وبذلك تتكون الرواسب الملحية والرواسب العضوية، أما الفتات الصخرى فإنه يتماسك مكوناً بعض الصخور الرسوبية مثل الكونجلمرات والبريشيا والصخور الرملية والطين الصفحى والصلصال.

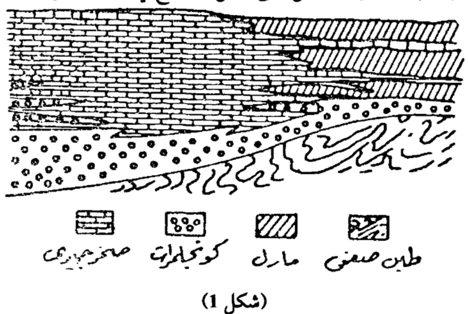
ومن المشاهد عادة في الصخور الرسوبية وجود تتابع معين في ترسيب الصخور، فعلى سبيل المثال قد يتكون جزء من قطاع معين ذى سمك كبير من

الصلصال بالإضافة إلى بعض الرواسب الأخرى كالصخور الرملية والجيرية على شكل متداخلات رقيقة نادرة. ومن الناحية الأخرى فإن جزءاً آخر من نفس القطاع قد يتكون أساساً من الصخور الجيرية أو من تبادل منتظم من الصخور الجيرية والصلصالية، ومثل هذا التتابع في الصخور ينشأ عنه ما يعرف بتكاوين الصخور الرسوبية، أى أن التكوين الصخرى عبارة عن تتابع معين من صخور مختلفة تتواجد مختلطة فيما بينها بنسب معينة تكاد تكون منتظمة، وهذا المفهوم للتكوين الصخرى يعتمد أساساً على الشكل الخارجى لسطح الأرض، أما من الناحية التكتونية فإن مفهوم التكوين الصخرى يعتمد على الظروف التركيبية التي تكونت فيها الرواسب. ومميزات التكاوين المختلفة تعكس لدرجة كبيرة نوع الصخور الأساسية المكونة لها ومن أمثلة ذلك تكاوين جبرية أو تكاوين من الطين الصفحى.

وأثناء عملية ترسيب المواد المفككة التي تنقلها المياه الجارية إلى البحيرات والبحار والمحيطات تترسب المواد الخشنة قريباً من الشاطئ وينتج عن هذه المواد بعد تماسكها بالمواد اللاحمة صخور الكونجلمرات والبريشيا. وبعيداً عن الشاطئ تتكون الصخور الرملية وعلى مسافات أكثر بعداً من الشاطئ يترسب الغرين والصلصال مكوناً بعد تماسكه الصخور الطينية والصلصالية. وهذ ا التدرج في حجم حبيبات الصخور الرسوبية لا يعنى وجود حدود فاصلة بينها، بل هناك انتقال تدريجى بين تكوين هذه الصخور وإذا كانت الظروف الطبيعية والكيميائية للترسيب منتظمة لفترة طويلة، فإن طبيعة الصخر الرسوبى لا تتغير في الاتجاه الرأسى، ولكنها تختلف فقط في الاتجاه الأفقى، وهذا نادراً ما يحدث إذ إن عمليات الترسيب غالباً ما تعتريها تغيرات عديدة مثل ارتفاع وهبوط قاع الحوض الترسيبى أو غزو البحر وتقهقره أو تغيير في اتجاهات التيارات النهرية والأمواج البحرية أو عدم انتظام مصدر الفتات الصخرى.

ويتنج عن ذلك اختلاف الصخور الرسوبية في نوعها في كل من الاتجاهين الرأسى والأفقى. ففي منطقة معينة إذا انتقلنا من نقطة إلى أخرى فإننا نلاحظ أن

مجموعة من الصخور التي ترجع إلى عصر جيولوجى واحد تختلف في التركيب والسمك، وكذكل أيضاً نجد أنه في المناطق المختلفة التي لها نفس العمر الجيولوجى تتباين صخورها في النوع والمسك. ويعتمد اختلاف الصخور في الاتجاه الأفقي تبعاً للظروف الطبيعية والكيميائية والتكتونية التي كانت سائدة وقت الترسيب. ففي بعض المناطق تظهر التغيرات بصورة تدريجية ويمكن ملاحظاتها فقط على مساحات شاسعة قد تمتد لمئات الكيلومترات، بينما في حالات أخرى تكون التغيرات فجائية وتظهر على مدى مسافات قصيرة. ويوضح الشكل (1) مثالا للتغيرات الأفقية في السحنة الصخرية وفي سمك الرواسب. وفي المرحلة الانتقالية للسحنة الصخرية يمكن مشاهدة اختفاء بعض الطبقات التي لها تركيب معين وظهور طبقات أخرى ذات تركيب مختلف، ونتيجة لذلك فإن طبقات معينة تتداخل على شكل الأصابع في طبقات أخرى.



(شكل 1)

رسم توضيحى يبين اختلاف سمك الطبقات والسحنة الصخرية في رواسب من العصر الجوراسى الأعلى في شبه جزيرة القرم بالاتحاد السوفييتى

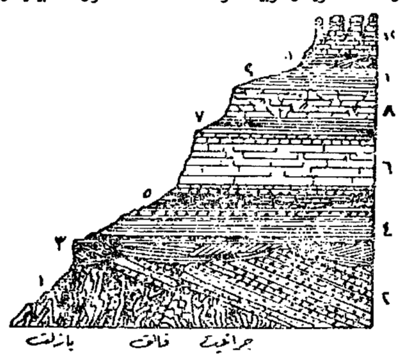
وأثناء تكون الصخور الرسوبية، سواء من مواد مفتتة عالقة أو من المحاليل، وتماسكها وتلاحمها وتعرضها للتغيرات المختلفة بعد ترسيبها فينشأ بها تراكيب أولية عديدة نذكر منها ما يأتي:

1- التطابق	(Stratification)
2- التطابق المتقاطع	(Cross – Bedding)
3- عدم التوافق	(Unconformity)
4- علامات النيم	(Ripple Marks)
5- علامات الموج	(Wave Marks)
6- علامات الغدير	(Rill Marks)
7- التشققات الطينية	(Mud Gracks)
8- التشوه المعاصر أو المتزامن للصخور	(Contemproaneous deformation of Sediments)
9- الدرنات الصخرية	(Conctetions)
10- الدرنات الشعاعية	(Septaria)
11- الجيود	(Geodes)
12- الزوائد الصخرية	(Stylolites)
13- تركيب البنية المخروطية المتداخلة	(Cone – in – cone Structure)
14- انطباعات المطر وانطباعات البرد	(Rain and hail impressions)
15- انطباعات الفقاعات	(Bubble Impressions)
16- آثار الحيوانات	(Animal Tracks)

1. التطابق

التطابق أو ترتيب الصخور في طبقات كما في شكل (2) من أهم الصفات المميزة للصخور الرسوبية وينشأ التطابق نتيجة الاختلافات في اللون والنسيج أو البنية وحجم الحبيبات المكونة للصخر الرسوبي وكذلك في تركيبه المعدنى والكيميائى. وقد يعزى التطابق أيضا إلى التوقف المؤقت لعملية الترسيب، حيث تتعرض الرواسب التي تكونت لتغيرات معينة مثل اختلاف درجة التماسك والتلاحم، وإعادة التبلور والإحلال المتبادل أو الترسيب من محاليل جارية خلال

الصخور، وكل هذه العمليات قد تحدث قبل إعادة الترسيب مرة ثانيـة. والطبقـة عبارة عن وحدة صخرية رسوبية تكونت أساساً تحت ظروف طبيعية واحدة، كما



(شكل 2) قطاع رأسيى في الوادي العظيم

بكلورادو في الولايات المتحدة يوضح التطابق

أنه يمكن تمييزها بسهولة عن الوحدات الرسوبية الـتي فوقـها والـتي تحتـها. وجميع الطبقات بصفــة عامـة عبـارة عـن أجسـام عدسـية الشـكل تغطـي عـادة مساحات شاسعة، ولكن الطبقات يقل سمكها تدريجياً على الجانبين حتى تختفـى تماماً، أو قد تتدرج جانبياً إلى نوع آخر من الصخور الرسوبية، وقد تنقسم الطبقـة بدورها إلى طبقات أصغر منها بواسطة مستويات أو سطوح للتطابق، وإذا كـانت المسافة بين مستويات التطابق سنتيمتراً واحداً فأقل فإن الصخر الرسوبى يقال إن له تركيباً رقائقياً (Lamination) وتسمى كل وحدة بالرقيقة، وقد تكـون الرقـائق موازية لمستويات التطابق أو مائلـة عليـها، وفي الحالـة الأخـيرة تسـمى بالرقـائق المتقاطعة. والسمك الحقيقى للطبقة هو المسافة العموديـة بـين سـطحيها العلـوي والسفلي ويعتمد سمك الطبقة على زمن الترسيب وكمية المواد التي ترسبت.

وهناك نوعان من التطابق هما:

(أ) التطابق المباشر أو الأولي وهو الذي ينشأ مباشرة عند ترسيب الطبقات منذ بداية تكونها، ويحتمل تواجده بالرواسب التي تتكون في بيئة عميقة أو ضحلة ذات مياه هادئة أو راكدة.

(ب) التطابق غير المباشر أو الثانوى وهو الذي ينشا إذا تفتت الرواسب، تحت ظروف جيولوجية معينة، إلى مواد عالقة في الماء ثم ترسب مرة ثانية، ويوجد هذا النوع من التطابق بالرواسب التي تتكون في بيئة شاطئية ذات مياه مضطربة تحت تأثير التيارات والأمواج وعوامل المد والجزر، ومعظم الطبقات لا يوجد بها تطابق غير مباشر أو ثانوي، ويعزى ذلك إلى استمرار ترسب نوع واحد من المواد الرسوبية لفترة طويلة جداً، ولكنه قد يرجع أيضاً إلى تفتت الرواسب بفعل الكائنات الحية ثم إعادة الترسيب مرة أخرى وقد قسم العالم بانيه التطابق، طبقاً لسمك الرقائق المكونة للطبقات، إلى أربعة أنواع هي كالآتى:

1. تطابق تفسخى (Fissile) ويتكون من رقائق أقل من 2 مم في السمك.
2. تطابق صفحى (Shaly) ويتكون من رقائق يتفاوت سمكها من 2 مم إلى 10 مم.
3. تطابق لوحى (Flaggy) ويتراح سمك الرقيقة المكونة للطبقة من 10مم إلى 100 مم.
4. تطابق كتلى (Massive) وهو النوع الشائع في الصخور الرسوبية وفيه يزيد سمك الرقائق للطبقات عن 100مم.

درجة ميل التطابق وإبعاد الوحدات الرسوبية:

يكون مستوى التطابق عادة موازياً لسطح الترسيب، ولكن في حالة التتابع الطويل للترسيب يحتمل وجود انحراف كبير عن السطوح الموازية لمستويات التطابق عند كل من القاع والقمة. وليس من الضرورى أن تكون السطوح الأولية للترسيب أفقية، ولكنها قد تكون متعرجة وتشتمل على نتوءات ذات

أبعاد مختلفة. كذلك ليس من الضروري أيضاً أن تكون السطوح الناتجة بعد الترسيب موازية للسطوح التي توجد تحتها مباشرة، إذ إن الأجزاء المنخفضة لسطوح الترسيب تستقبل رواسب أكبر سمكاً من الأجزاء المرتفعة، وينشأ عن ذلك أن مستويات التطابق المتتابعة للطبقات اللاحقة تكون أقل ميلا من الطبقات السابقة، ولكن هناك كثيراً من ظروف الترسيب التي قد تؤدى إلى نشأة سطوح أكثر تعرجاً من السطوح السابقة، وقد تكون هذه السطوح في بعض المناطق شديدة الانحدار، فمثلاً قد تؤدي عوامل التعرية إلى عدم انتظام الترسيب وبذلك قد تنشأ سطوح غير منتظمة لدرجة كبيرة.

ولقد أجريت بعض الدراسات لمعرفة الحد الأقصى لانحدار مستويات الترسيب، وذكر العالم ثوليت أن أكبر انحدار يسمح بالترسيب هو 41 °، ولكن الدراسات الحديثة أثبتت أن الرواسب خشنة الحبيبات وكذلك تلك التي تتكون من حبيبات غير منتظمة تترسب تحت سطح الماء على سطوح أشد انحداراً من تلك التي تترسب عليها الرواسب دقيقة الحبيبات أو تلك التي تتكون من حبيبات مستديرة. وقد وجد أن 43 ° هو الحد الأقصى للانحدار تحت سطح الماء الذي يسمح بترسيب الرمال الخشنة ذات الشكل غير المنتظم، بينما في حالة الرمال الناعمة جداً فإن أقصى انحدار لترسيبها هو 33 °، أما في حالة الرمال متوسطة الحجم فإن أقصى انحدار لترسيبها هو 38 ° إذا كانت غير منتظمه، 35 ° إذا كانت مستديرة. ولا يتجمع الصلصال على منحدرات ذات ميل أكبر من 30 ° إلا إذا كان متسرباً على سطح صلب يساعد على التصاق الصلصال. وبصفة عامة فإن الطبقات الصلصالية تكون ذات سمك أكبر إذا ترسبت على سطوح ذات انحدار صغير، بينما يكون سمكها أقل إذا ترسبت على سطوح ذات انحدار كبير نسبياً.

وكثير من مواضع الترسيب ذات انحدار كبير، فعلى سبيل المثال يكون قاع الشعب المرجانية في اتجاه البحر ذات انحدار شديد، كما أن بعض تكاوين الشعب المرجانية القديمة لها انحدار يزيد عن 40 ° وكثير من الفوالق والمنحدرات البركانية تحت سطح البحار ذات انحدار اكبر من 40 ° أما المنحدرات ذات الميل المتوسط

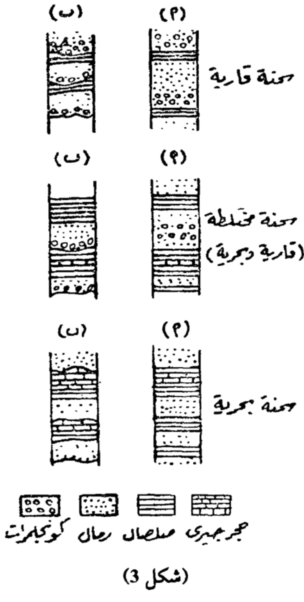
(حوالى 20 ˚) فهى واسعة الانتشار وقد ينشأ عن الترسيب سطوح شديدة الانحدار، وخاصة بالقرب من مصبات الأنهار التي تصب في بحار أو بحيرات هادئة ذات مياه راكدة نسبياً، وهناك أمثلة عديدة لتلك المنحدرات التي تنشأ بهذه الطريقة.

وسطوح الترسيب لمصبات كثيرة من الأنهار التي تصب في البحار تكون عادة ذات انحدار بسيط ويتفاوت الانحدار من درجة واحدة، مثل نهر المسيسبى بأمريكا، إلى نصف درجة مثل نهر الراين في أوربا، ويعزى ذلك إلى تأثير الأمواج والتيارات المائية التي تساعد على توزيع وانتشار الرواسب. و حالة الرواسب النهرية فإن ميل مستويات التطابق قد يكون كبيراً وغير منتظم لدرجة عالية نتيجة لعوامل النحر والترسيب السائدة بمجرى النهر. وكثير من الرواسب ذات ميل أولى كبير، أما الطبقات التي يتراوح ميلها من 5˚ إلى 10˚ فهى واسعة الانتشار ويوجد أكبر ميل أولى للترسيب في حالة الرواسب الجيرية المسماه بالترافرتين حيث يصل ميل منحدرات الترسيب لأكثر من 90˚، ولكن هذا النوع من الرواسب يكون متماسكاً منذ نشأته وهناك اعتقاد بأن غالبية الرواسب التي لها ميل أصلى أكبر من 40˚ قد ترسبت في حالة صلبة وتماسكت مع سطح الترسيب.

وهناك نوع من الطبقات المركبة التي ينشأ عنها ما يسمى بالتتابع التكرارى (Rhythmic Sequence) ويتميز بتكرار مجموعة معينة من الصخور على فترات منتظمة ويتراوح سمك كل تتابع من مترين إلى ثلاثة أمتار. وقد يتكون مثل هذا التتابع، من أسفل إلى أعلى، من صخور رملية خشنة ثم صخور جيرية صلصالي يليها صخور جيرية نقية، ويشاهد التبادل المنتظم في الطبقات التي تحتوى على الفحم حيث تتكرر الرواسب القارية من أسفل إلى أعلى بالترتيب الآتي: صخور رملية - مواد صلصالية - فحم - رواسب بحرية - (تتكون من الصلصال والصخور الجيرية والرمال) وتكون الحدود الفاصلة بين هذه الصخور عادة واضحة، كما أن الانتقال من صخر إلى آخر يكون تدريجياً. والتبادلات المنتظمة بين الصخور قد تساعد أيضاً لتحديد سطوحها العلوية والسفلية، والتي لها أهمية خاصة في حالة تغيير الوضع الأصلي للطبقات. ففى معظم الأحوال توجد

الرواسب الخشنة في قاع التتابع بينما يتميز السطح العلوى للتتابع بالرواسب دقيقة الحبيبات. وبالإضافة إلى ذلك فإن نوع الصخور الداخلة في تتابع معين يلقى بعض الضوء على ظروف أو بيئة الترسيب ويتضح ذلك من الشكل (3)، والتغيير في نوع الصخر الرسوبى يشار إليه عادة بالتغير في سحنة الصخر (Changes of lithofacies).

ويتروواح سمك الوحدات الرسوبية من ملليمتر واحد إلى عدة أمتار وبصفة عامة فإنه يتفاوت من 5 سم إلى 50 سم. ولا توجد علاقة بين سمك الرواسب وسرعة الترسيب أو الزمن، فإن طبقة رقيقة من أى نوع من الرواسب قد تترسب في زمن يعادل ترسيب طبقة سمكها عدة أمتار من نفس النوع أو نوع آخر من الرواسب في زمن أو مكان آخر. وبالإضافة إلى العوامل التي تؤدي إلى زيادة أو نقص كمية الرواسب، فإن أبعاد الوحدات الرسوبية تتغير باختلاف بيئة الترسيب ونوع ومقدار المواد الرسوبية. وحالة الرواسب الخشنة توجد اختلافات كبيرة في سمكها وإمتدادها وتوزيعها، ويعتمد ذلك على عدة عوامل أهمها مقدار الحمل والظروف التي قد ينتج عنها هبوط كبير في مقدار الرواسب، أما في حالة الرواسب الدقيقة فيكون توزيعها عادة على مساحات شاسعة نسبياً كما أن سمكها يكاد يكون منتظماً لدرجة كبيرة.



(شكل 3)

أمثلة لرواسب متبادلة منتظمة من بيئات مختلفة

وتختلف رواسب المراوح الطمية (Alluvial Fans) والتي توجد على شكل مخروط ورواسب سهول الفيضانات ودالات الأنهار في سمكها وتوزيعها ومساحاتها اختلافا كبيرا على مدى مسافات صغيرة جدا، وتزداد هذه الاختلافات عندما تتغير بيئة الترسيب من ظروف الدلتا إلى سهول فيضانية أو إلى مجارى للأنهار أو مراوح طمية، ويظهر هذا التغيير بوضوح في تكاوين المياه العذبة مثل منطقة فورت ينيون بولاية مونتانا في أمريكا الشمالية وهي عبارة عن

مجموعة عدسية الشكل من الصلصال والطمى والرمل والحصى والفحم، وتصل مساحة بعض الوحدات الرسوبية إلى عدة أمتار مربعة بينما قد تغطى بعض الوحدات الرسوبية الأخرى عدة أميال مربعة. والوحدات الرسوبية التي تتكون في بيئة بحرية ضحلة تختلف اختلافاً كبيراً في أبعادها، فمثلا قد تمتد وحدة رسوبية لعدة كيلومترات على امتداد الساحل، بينما تمتد على نفس الساحل وحدة رسوبية أخرى لعدة أمتار فقط ومثل هذه الاختلافات توجد أيضاً في تكاوين الشعب المرجانية إلا إذا كانت جميع الرواسب جيرية. وتختلف أبعاد الوحدات الرسوبية باختلاف المسافة من الشاطئ، وعمق المياه في المنطقة الضحلة وبصفة عامة فإن المساحة التي تغطيها هذه الأنواع من الرواسب تكون عادة أكبر من الرواسب التي تتكون تحت ظروف الترسيب في القارات فيما عدا الرواسب البحرية العميقة التي يتراوح عمقعها من 200 إلى 2000 متر ولقد بحث الجيولوجيون حتى نهاية القرن الماضى تكاوين المياه الضحلة للبحار القريبة من القارات، وأثبتت الدراسة وجود اختلافات كبيرة في إبعاد الوحدات الرسوبية. فعلى سبيل المثال يوجدفي جزيرة الترينيداد تكاوين (ويليامز فيل) الصلصالية التي يتغير سمكها من 12 إلى 60 متراً وتمتد ثمانية كليومترات تقريباً، بينما تختلف تكاوين المارل في السمك من 15 إلى 450 متراً على مدى حوالي أربعة كيلومترات، أما تكاوين الصلصال الخضراء فيتفاوت سمكها من 15 إلى 195 متراً. وبنفس الطريقة فإن صخور العصر الثلاثى على ساحل الباسفيكى توجد به وحدات رسوبية ذات اختلافات عظيمة في السمك. وهناك اعتقاد بصفة عامة بأن الرواسب القارية والرواسب البحرية التي تتكون في بيئة ضحلة تختلف اختلافاً واضحاً في صفاتها وسمكها، كما أن معظم الوحدات الرسوبية عبارة عن عدسات ذات أبعاد مختلفة.

أصل التطابق:

يكون أصل التطابق أحياناً واضحاً، بينما في حالات أخرى يكون أصلة غامضاً أو غير مفهوم ومن المدهش حقاً أننا لا نعرف إلا القليل عن أهم ظاهرة

تميز الصخور الرسوبية. ومما لا شك فيه أن عوامل النقل بواسطة الجر تؤدي إلى التطابق، ويعزى ذلك لمقدرة المياه على حمل الأحجام المختلفة من الفتات الصخرى ثم تصنيف هذه المواد لدرجة ما تبعاً لاختلاف سرعات ترسيبها ومن الأسباب الهامة التي قد تؤدى إلى التطابق اختلاف الظروف المناخية والأحوال الجوية والتباين في مقدرة التيارات المائية على حمل فتات الصخور تحت الظروف الجوية العادية وتغير منسوب سطح البحر، ونمو الكائنات الحية، وترسيب المواد العالقة في الماء. ويعزى التطابق في أي منطقة إلى واحد أو أكثر من العوامل سالفة الذكر. وفيما يلي سنذكر بعض الأسباب التي ينشأ عنها التطابق في الرواسب.

1. التغيرات الجوية والموسمية:

تتسبب التغيرات الجوية والموسمية في ظهور بعض أنواع التطابق فتقوم الأمطار الغزيرة المصحوبة بفيضانات عالية بنقل كميات هائلة من المواد المفتتة التي تترسب فيما بعد على مساحات شاسعة كمواد مفككة ذات سمك كبير، أما في الأوقات بين مواسم الفيضانات فتتكون رواسب أقل حجماً وسمكاً، وربما ذات تركيب معدنى مختلف. ويكون التطابق الناتج عن التغيرات الجوية واضحاً في حالة الرواسب القارية، ولكنه قد يوجد أيضاً في بعض الرواسب البحرية حيث تجرف وتنقل الرياح والأمواج الشديدة بعض الرواسب من المنطقة الشاطئية أو المياه الضحلة إلى بيئة المياه العميقة، وبذلك تترسب في المياه العميقة مواد خشنة لا تتكون تحت الظروف العادية في تلك البيئة وترجع معظم التغيرات الجوية إلى اختلاف الفصول إلى مدار السنة. ففي بعض المناطق تتميز بعض فصول السنة بجو غزير الأمطا وعواصف شديدة، بينما تتميز الفصول الأخرى بأمطار قليلة ورياح خفيفة مما يؤثر على كمية ونوع الفتات الصخرى المنقول إلى مواضع الترسيب.

ويعزى التطابق في الحجر الجيرى عادة إلى وجود بعض رقائق رفيعة من الصلصال بين الطبقات، ويظهر ذلك بوضوح في الأحجار الجيرية في كثير من المناطق فعلى سبيل المثال الأحجار الجيرية التابعة لعصر الميوسين في مصر

وكذلك الأحجار الجيرية التابعة للعصرين السيلورى الأردوفيسى في وادي المسيسبى الأعلى والتي تكاد تكون شرائط الصلصال فيها ذات سمك صغير جداً من الصلصال التي تظهر في الصخور الجيرية بكثير من المناطق قد تكونت إما بفعل العواصف الشديدة التي أثرت على رواسب القاع فأصبحت المواد الصلصالية عالقة في الماء أو نتيجة للأمطار الغزيرة على الأرض والتي نشأ عنها فيضانات كبيرة جرفت ونقلت معها كميات عظيمة من المواد الطميّة بعيداً عن الشاطئ ثم ترسبت تلك المواد على هيئة رقائق رفيعة تفصل بين طبقات الصخور الجيرية.

ومن أفضل الأمثلة للترسيب الموسمى تلك التي توجد بالبحيرات التي تصب فيها مياه الثلاجات بعد انصهار الجلدي. ففي فصل الصيف يؤدي الانصهار السريع للجليد أن تحمل المياه كميات كبيرة من الرواسب المفككة ذات الأحجام المختلفة، وبذلك تترسب في قاع البحيرات مواد ذات حجم وسمك معين أما في الفصول الباردة فإن المواد المنقولة يكون حجمها أقل وبالتالي تتكون رواسب ذات الحبيبات دقيقة وسمك أقل، وبهذه الطريقة تتدرج الرواسب الصيفية خشنة الحبيبات إلى رواسب شتوية ذات حبيبات دقيقة ونتجية لتعرض الرواسب الشتوية للتأكسد نظراً لبقائها لفترة طويلة عالقة في الماء فإن تلك الرواسب تكون عادة ذات لون قاتم، وذلك بعكس الرواسب الصيفية التي تكون عادة فاتحة اللون. وعندما يبدأ الجليد في الذوبان في فصل الربيع تتكون مرة أخرى الرواسب الصيفية خشنة الحبيبات وبذلك ينشأ حد فاصل بين الرواسب الخشنة والرواسب الدقيقة. ورغم أن التركيب المعدني للرواسب الصيفية والشتوية يكاد يكون متشابها إلى حد كبير، غير أن الرواسب الشتوية تتميز عادة بأنها تحتوي على أكسيد الحديد (Fe_2O_3) ومواد صلصالية. وتسمى الرواسب التي تكونت في عام و احد خلال فصلى الصيف والشتاء بالرواسب الحولية (Varve)، ويتفاوت سمكها من عدة ملليمترات إلى أكثر من 30 سنتميتراً. وقد تكون الرواسب الحولية ذات تركيب صفائحى ويعزى ذلك لعدة أسباب أهمها كالآتي:

أ- اختلاف قدرة المياه على حمل الرواسب.

ب- اختلاف معدل انصهار الجليد تبعاً للتباين في درجة الحرارة بين الليل والنهار.

ج- اختلاف الصفات المميزة للرواسب وكذلك مقدارها.

د- اختلاف درجات الحرارة عند انصهار الجليد في مياه البحيرات ومن المعروف أن المياه الناتجة عن ذوبان الثلاجات يجب أن تصب في بحيرات للمياه العذبة لكي تتكون الرواسب الحولية والبقايا العضوية المختلطة مع الطين تكون رواسب سوداء تسمى سابروبل (Sapropel) وهي تترسب خلال أحد فصول السنة، بينما تترسب المواد الأخرى أثناء بقية الفصول، وبذلك تتكون رواسب حولية تحتوي على السابروبل، ومن أمثلة هذه الرواسب تلك التي توجد في بحيرات ماكاى بالقرب من أوتاوه في كندا، وتتكون من رقائق متبادلة، يصل سمكها حوالى نصف مللميتر، من حجر جيري فاتح اللون، وطبقات رفيعة من مواد عضوية ذات لون أحمر قاتم وخالية تماماً من كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري).

2. التغيرات المناخية:

من الواضح أن التغيرات المناخية تؤدى إلى نشأة بعض أنواع التطابق غير أن هذه التغيرات تحدث تدريجياً وتمتد على فترة طويلة من الزمن.

3. التغيرات في شدة التيارات:

ترجع معظم الاختلافات في شدة التيارات إلى العوامل الجوية، مثل تأثير الرياح وعوامل المد والجزر، مما يؤدي إلى نشأة بعض أنواع التطابق، ويظهر ذلك بوضوح في بعض الرواسب التي تتكون على بعض شواطئ البحار ا لمعرضة لتأثير التيارات والمدر والجزر.

4. الارتفاع النسبى لمستوى البحر:

يعتقد أن معظم أنواع التطابق تعزى إلى الارتفاع النسبى لمستوى سطح البحر. وتتكون قيعان البحار عند مستوى الترسيب، وهو السطح الذي لا

تترسب فوقه مواد أخرى إلا عندما تتوافر ظروف مواتيه لنشأة مستوى أعلى للترسيب، ويحدث ذلك نتيجة للارتفاع النسبى لمستوى سطح البحر أو هبوط مستوى قاع الترسيب. وبهذه الطريقة تتكون طبقة جديدة أو مجموعة من الطبقات التي تنفصل عن الوحدات الرسوبية القديمة عند السطح السابق للترسيب والذي تكونت فوقه الرواسب الجديدة. ويمثل سطح الانفصال فترة عدم الترسيب التي قد تكون قصيرة جداً، وفي هذه الحالة تسمى عدم التوافق المحلى أو داياستم (Diastem) أو قد تكون طويلة جداً وحينئذ تسمى عدم التوافق المنتظم أو المتوازى (Disconformity) وتتميز تكاوين الحجر الجيري المرجانى بتطابق غير منتظم ويرجع ذلك جزئياً لارتفاع مستوى سطح البحر. ويتوقف البناء الرأسي للشعب المرجانية عند مستوى سطح البحر، فإذا ارتفع مستوى البحر تدريجياً، ولكن ليس بسرعة كبيرة تمنع الكائنات من الاستمرار في نموها، فقد تنمو الشعب رأسياً مرة ثانية.

5. نشاط الكائنات العضوية:

إن قيعان المنخفضات المملوءة بالمياه تكون عادة مرتعاً خصباً لنشاط الكائنات الحية وبالتالى لتراكم الرواسب العضوية وهناك عدة عوامل يتوقف عليها ازدهار بعض الكائنات الحية واضمحلال أنواع أخرى، ومن ضمن هذه العوامل نذكر على سبيل المثال:

أ. التغيرات في درجات الحرارة.

ب. كمية المواد العالقة في الماء والتي يتوقف عليها درجة تعكير الماء.

جـ. العمق.

د. طبيعة القاع.

هـ. دورات سريان المياه.

و. درجة الملوحة ومعامل تركيز أيون الإيدروجين.

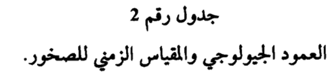
ز. الضوء.

وينشأ التطابق نتيجة الاختلاف في نوعية المواد العضوية التي تترسب تحت ظروف الترسيب المختلفة، ومن أمثلة ذلك وجود بعض الطبقات التي توجد بها بقايا نوع معين من الحيوانات بكميات كبيرة بينما يتواجد في الطبقة التي تعلوها بقايا نوع آخر من الحيوانات.

6. ترسيب المواد العالقة:

تترسب المواد العالقة طبقا لحجم وشكل حبيباتها وثقلها النوعي، فالحبيبات الأكبر حجما وأكثر استدارة وأعلى كثافة ترسب أولا، بينما الحبيبات الأصغر حجما وأقل استدارة وكثافة فإنها ترسب فيما بعد فإذا تمت عملية الترسيب وفقا للظروف سالفة الذكر ينشأ التطابق في الرواسب.

ويتميز التطابق في هذه الحالة بالتدرج الذي يسمى بالتطابق المتدرج فيترسب في قاع الطبقة حبيبات خشنة كبيرة الحجم، بينما يتكون السطح العلوى من حبيبات ناعمة دقيقة جدا وقد يكون ذلك مصحوبا بتغير في لون الطبقات. وقد وجد أن المواد الغروية العالقة في ماء مقطر ترتب نفسها على شكل رقائق رفيعة هي في الحالة العالقة، وبذلك ينشأ التطابق نتيجة للترسيب على هذه الصورة، ولكن من المستبعد حدوث مثل هذا النوع من التطابق في المياه الطبيعية، ولا يعزى لهذا السبب على الإطلاق أي نوع من التطابق في الصخور بالعمود الجيولوجي الموضح بالجدول (2).



جدول رقم 2

العمود الجيولوجي والمقياس الزمني للصخور.

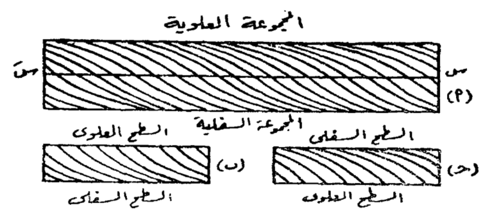
أحقاب	عصور	العمر التقريبي	منذ بداية العصر مقدراً بملايين السنين
حقب الحياة الحديثة	الرباعى	حديث	
		بلايستوسين	
	الثلاثى	بليوسين	70
		ميوسين	
		أوليجوسين	
		أيوسين	
حقب الحياة المتوسطة		كريتاس	120
		جوراسى	150
		ترياسى	190
حقب الحياة القديمة		برمى	220
		كربونى	280
		ديفونى	320
		سيلورى	350
		أوردوفيسى	400
		كمبرى	500
حقب ما قبل الكمبرى		أقدم العصور التابعة لهـذا العصر	
		تعرف باسم الأركى	على الأقل 750
أصل الأرض			اكثر من 4000

وبإضافة الأملاح الألكتروليتية إلى المواد الغروية العالقة فإنها تترسب على هيئة طبقات دقيقة جداً وينتج عن ذلك ما يعـرف بالرقـائق. وفي تجربـة حلقـات

(ليزيجانج) يغطى لوح زجاجي بطبقة من الجلاتين مذاب فيها بيكرومات البوتاسيوم، فإذا أضفنا نقطة من محلول نترات الفضة على اللوح نلاحظ تكون حلقات مركزية حول النقطة، وتكون الحلقات متقاربة من بعضها بالقرب من المركز، لكنها متباعدة بعيداً عن المركز وبإضافة محلول من كربونات الأمونيوم تدريجياً إلى مادة صلصالية معلقة في ماء يحتوى على كمية متوسطة من سيليكات الصوديوم، فإن كربونات الأمونيوم تنتشر في المحلول إلى أسفل وينشأ عن ذلك ترسيب حامض السيليسيك الشفاف، ويحتمل أن بعض التراكيب الرقائقية التي توجد في المواد الطينية دقيقة الحبيبات يرجع أصلها إلى مثل هذه الخاصية.

2. التطابق المتقاطع.

التطابق المتقاطع أو التطابق الكاذب تركيب مميز للرواسب الرملية، وينشأ عن ترتيب الرقائق في مستويات متقاطعة مع سطوح التطابق، وفي المرحلة الأولية للتطابق المتقاطع تكون الأجزاء العلوية من الرقائق موازية لمستويات التطابق العلوية، ولكن أثناء النمو المستمر للرقائق الجديدة فإن الجزء العلوي يتلاشى. وفي حالة الرمال الخشنة جداً يحتمل أن تكون الرقائق ذات ميل كبير على السطحين العلوي والسفلى لمستويات التطابق. ويسمى الجزء السفلى المماس لمستوى التطابق بالمجموعة السفلية (Bottom set)، أما الجزء المائل فيعرف بالمجموعة الأمامية (Fore set) بينما يسمى الجزء العلوى في حالة وجوده بالمجموعة العلوية (Top set) كما في شكل (4) وتتراوح زوايا ميل الرقائق من الحد الأقصى وهو 43° إلى زوايا صغيرة جداً، وغالباً تكون أقل من 30°. وتختلف زوايا ميل الرقائق باختلاف كمية وحجم حبيبات الرمال وسرعة الترسيب، فتزيد في حالة ترسيب كميات كبيرة من الرمال الخشنة، وقد تقل درجة الميل بعد الترسيب نتيجة لعملية التماسك.



شكل (4) قطاع يوضح التطابق المتقاطع واستخدامه في التعرف على التتابع الأصلى للطبقات

أ. التركيب الأصلي الكامل للتطابق المتقاطع.

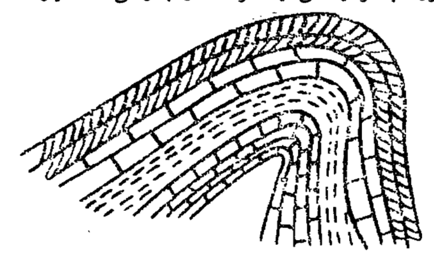
ب. تآكل الجزء العلوي إلى السطح س – سَ ويظهر التطابق المتقاطع في الوضع الأصلى للطبقة

ج. شكل التطابق المتقاطع في الطبقة المقلوبة.

ويتناسب طول المجموعة العلوية تناسباً عكسياً مع كمية الرمال، وتتناسب طردياً مع شدة التيارات، وقد يصل طول المجموعة العلوية إلى 30 متراً، أو أكثر، ولكنها تبلغ في المتوسط ثلاثة أمتار كحد أقصى. ويوجد التطابق المتقاطع بشكل واضح في تكاوين الحجر الرملى النوبي الذي يغطى مساحات شاسعة في الصحارى الشرقية والغربية بالقطر المصرى، ويتفاوت عمر هذه التكاوين من العصر الكربونى إ لى العصر الكريتاسى (الطباشيرى).

والتطابق المتقاطع له أهمية كبيرة من الناحية التركيبية، حيث تكون الرقائق منحنيات مقعرة إلى أعلى، ونادر جداً ما تتواجد المجموعة العلوية وبذلك تصبح الرقائق ذات ميل كبير على السطح العلوي للطبقة. وفيما عدا الرمال الخشنة جداً فإن المجموعة السفلية تكون مماسة لقاع مستوى التطابق للطبقة، ونتيجية لذلك فإنه من السهل التعرف على الطبقات التي لا زالت في وضعها الصحيح وتلك التي تجعدت أو انقلبت كما في شكلى (4، 5) ويوجد التطابق المتقاطع في

جميع البيئات التي تترسب فيها الرمال، ويتوقف وجود هذه التراكيب الأولية المميزة للرواسب الرملية على كيمة الرمال المترسبة وعلى شدة التيارات.



(شكل 5)

العلاقة بين التطابق المتقاطع وطية محدبة (أنتكلين).

وفي حالة الرواسب النهرية يكون للتطابق المتقاطع مركبة مائلة في اتجاه المصب، فيما عدا حالة الأنهار التي تتعرض لعوامل المد والجزر والتي قد يوجد بها تطابق متقاطع في اتجاه المنبع وقد تؤدى الدوامات إلى نشأة تطابق متقاطع على نطاق محلى في اتجاه المنبع أيضاً. ويتعرض كثير من مجارى الأنهار إلى الالتواء، مما يؤدي إلى نشأة تطابق متقاطع على نطاق كبير في اتجاه المنبع. والتطابق المتقاطع الذي يتواجد بالمراوح الطمية والمخروطية والدلتا تكون ميولها متشعبة أو متفرعة من مجارى الأنهار. أما في حالة رواسب البحيرات والبحار فإن التطابق المتقاطع الذي يوجد في مجموع متتابعة من البحيرات والبحار فإ، التطابق المتقاطع الذي يوجد في مجموعة متتابعة من الطبقات يكون مائلا في اتجاهات متعددة، ويعزى ذلك لاختلاف اتجاه حركة التيارات. وفي حالة الكثبات الرملية فإن التطابق المتقاطع يتبع النظام العام للكثيب، أي تترسب الرمال على أبعاد مختلفة في المنخفضات والمرتفعات ولكنها تكون في وضع مائل في نفس الاتجاه العام كما تكون الرقائق موازية للاتجاه المقابل للرياح في الكثبان الرملية.

وينشأ التطابق المتقاطع بفعل المياه والرياح ويتميز كل نوع بالخصائص سالفة الذكر، غير أنه توجد صفات مشتركة أهمها ما يأتي:

1. تكون الرقائق مماسة لسطوح الترسيب عند القاع وتكون مائلة عند القمة.
2. تكون الرقائق مقعرة نحو السطح العلوي.
3. تكون ميول المجموعات الأمامية متشابهة إلى حد كبير، وقد تكون هذه المجموعات طويلة.

وهناك اختلافات في شكل الوحدات التي يوجد بها تطابق متقاطع بفعل المياه أو الرياح. ففي حالة التطابق المتقاطع بفعل المياه تكون المستويات التي تحيط بالرقائق متوازية تقريباً كما في شكل (6) أما في حالة التطابق المتقاطع بفعل الرياح، فإن المستويات المائلة تكون ذات ميل كبير على مستويات الترسب، وتكون الرقائق على شكل خابور، إذا نظرنا إليها في اتجاهين كما في شكل (7) وهناك ثلاثة أنواع من التطابق المتقاطع هي:

1. التطابق المتقاطع في الحواجز الرملية:

تتحرك الحواجز الرملية على القاع بكميات عظيمة على شكل تلال أو هضاب، وتكون جوانبها في المقدمة ذات انحدار شديد، وقد يبلغ ارتفاعها فوق القاع ما بين ثلاثة سنتيميرات وثلاثة أمتار أو أكثر. وأحياناً يصل طول المجموعة الأمامية لأكثر من ثلاثين متراً. وميول المجموعة الأمامية ذات اتجاهات مختلفة، ولكن يوجد عادة اتجاه عام ناحية الاتجاه السفلى للتيارات. والسطح العلوى يكاد يكون أفقياً، أما القاعدة فيكون سطحها عادة غير منتظم. ويتكون كل حاجز رملى من طبقة تكون فيها ميول المجموعات الأمامية في نفس الاتجاه العام للميل، أما الطبقات التالية فإن ميول مجموعاتها الأمامية إما أن تكون في نفس الاتجاه أو في اتجاهات أخرى كما في شكل (6) ويعتمد ذلك على ظروف الترسيب التي قد تكون في مياه راكدة أو مياه متحركة في مجرى النهر.

السطح العلوي للطبقة

(شكل 6) التطابق المتقاطع الناشئ بفعل التيارات المائية.



(شكل 7) التطابق المتقاطع الناشئ بفعل الهواء

2. التطابق المتقاطع بفعل علامات النم:

تنشأ علامات النيم من الامـواج والتيـارات المائيـة، وقـد يصحبـها أنـواع مختلفة من التطابق المتقاطع. وعلامات النيم الناتجة عن التيـارات يكـون التطـابق فيها في اتجاه مضاد لحركة التيارات، وقد يصل أقصى طول للمجموعات الأمامية إلى حوالي 15 سنتيمتراً وفي حالة الرواسب النهرية يكون الميل للتطابق المتقاطع في اتجاه المصب، بينما في حالـة رواسـب الميـاه الراكـدة فـإن الميـول تكـون متعـددة الاتجاهات. والتطابق المتقاطع الناشئ بفعل الأمواج لا يشاهد عادة في الرواسـب غير المتصلدة، وهي توجد عادة على الأجزاء الخارجية للشعب الرملية.

3. التطابق المتقاطع في الكثبات الرملية:

يكون التطابق المتقاطع للكثبات الرملية مـائلا في اتجاهـات تقـدم الكثيـب الرملي. ويتوقف ميل الرقائق على طبيعة وكمية الرمال وحجم حبيباتها وسـرعة الترسيب، وقد ينشأ عن المدى الشاسع لاتجاه الرياح في نطاق ضيق اختلاف كبير

في اتجاه ميل المجموعات الأمامية للتطابق المتقاطع، حيث أن الجوانب التي في عكس اتجاه الكثيب الرملى تكون عادة مقعرة أو هلالية الشكل في اتجاه تقدم الكثيب. ولقد أشار العلماء بيدنيل وشوتون وريتشى بأن الاتجاه العام للميل في التطابق المتقاطع يجب أن يكون هو الاتجاه السائد للرياح. والمجموعة المتقدمة تكون عادة طويلة، وكما سبق الذكر فإن الوحدات ذات التطابق المتقاطع يكون شكلها كالخابور عند رؤيتها في اتجاهين وبصفة عامة فإن التطابق المتقاطع الناشئ بالرياح يتميز بعدم انتظامه الشديد كما في شكل (7) ويعزى ذلك لاختلاف اتجاه الرياح وتعدد عمليات التآكل والترسيب.

3. عدم التوافق:

عدم التوافق أحد الظواهر التركيبة التي يرجع أصلها لعوالم التعرية والترسيب، بالإضافة إلىالعمليات التكتونية، وقد يتشابه عدم التوافق في مظهره العام مع بعض أنواع الفوالق، وتشترك جميع أنواع الصخور من رسوبية وجوفية وبركانية ومتحولة في ظاهرة عدم التوافق ومن أهم فوائد عدم التوافق استخدامه في تحديد تاريخ الحركات البنائية للجبال والحركات البنائية للمرتفعات والمنخفضات. ويعبتر عدم التوافق ذو اهمية خاصة من الناحية العلمية في علوم الأرض وخاصة في الجيولوجيا التاريخية والاستراتيجرافى والترسيب، أما من الناحية الاقتصادية فإن سطوح عدم التوافق تكون تراكيب مناسبة للتجمعات البترولية والغاز الطبيعى وتركيز بعض الرواسب المعدنية الهامة.

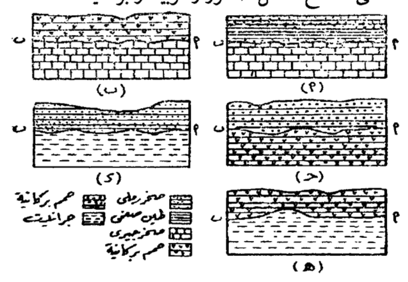
وينشأ سطح عدم التوافق في معظم الأحيان نتجية لوجود سطح للتآكل، أو نتيجة توقف مؤقت لعمليات الترسيب، ويفصل هذا السطح بين الطبقات القديمة والأحدث عمراً، ولكى ينشأ عدم التوافق تجب أن تتم ثلاث مراحل هي كالآتي:

أ. تكون الصخور القديمة تحت ظروف وبيئة ترسيبية مناسبة.

ب. ارتفاع التكاوين القديمة عن مستوى قاع الترسيب مما يسبب توقفاً مؤقتاً للترسيب وتآكلها بعوامل التعرية.

ج. ترسيب الطبقات الأحدث عمراً على السطح المتآكل للطبقات القديمة.

وفي شكل (8) يحدد عدم التوافق بالسطح (أ ب)، فمثلا في حالة الشكل (8-أ) تكون الصخور التي فوق وتحت سطح عدم التوافق صخوراً رسوبية إذ بعد ترسيب الحجر الجيري السفلى ارتفعت المنطقة وتعرضت لعوامل التعرية ثم ترسب بعد ذلك الحجر الرملى العلوى والطين الصفحى أما في شكل (8-ب) فإن الصخور التي تحت سطح عدم التوافق هي صخور جيرية، بينما الصخور التي فوق سطح عدم التوافق هي صخور بركانية وفي هذه الحالة ترسب الحجر الجيري أولا ثم ارتفعت المنطقة وتعرضت لعوامل التعرية ثم غطيت بالطفوح البركانية الناتجة من ثوران البراكين وفي شكل (8-جـ) يتضح أنه بعد تدفق الصخور البركانية السفلية حدث تآكل، سواء ارتفعت المنطقة أو لم ترتفع، ثم تدفقت ثانياً الصخور البركانية العلوية، أما الشكل (8-د) والشكل (8-هـ) فهى توضح عدم التوافق في حالة صخور جوفية تداخلت بالصخور المحيطة ثم تآكلت بعوامل التعرية، وبعد ذلك تكونت على السطح المتآكل صخور رسوبية أو بركانية.



(شكل 8) سطوح عدم التوافق (أ ب).

(أ) صخور رسوبية (ب) صخور بركانية ورسوبية.

(ج) صخور بركانية (د) صخور رسوبية وجوفية.

(هـ) صخور بركانية وجوفية.

وتختلف تضاريس سطع عدم التوافق اختلافا كبيرا، وفي بعض المناطق تكون الصخور القديمة قد تآكلت لدرجة كبـيرة وتكـاد تكـون مسـتوية، بينمـا في منـاطق أخرى قد يمثل سطح عدم التوافـق مرحلـة ناضجـة في دورة التـآكل قبـل ترسـيب الصخور العلوية ويتراوح ارتفاع سطح عدم التوافق من مئات إلى آلاف الأمتار.

وهناك نوعان متيمزان مـن عـد التوافـق، أرلهمـا عـدم التوافـق الإقليمـي والذي يغطى مساحات شاسعة، وثانيهما عدم التوافق المحلـى ويتمـيز بأنـه علـى نطاق محدود. وفي وعدم التوافق الإقليمي تتداخـل الطبقـات بطريقـة مباشـرة أو غير مباشرة على السطح الحالى اللأرض، فإذا حددنا أو رسمنا جميع سطوح عدم التوافق بالعمود الجيولوجي لوجدنـا أن سـطح الأرض يمتـد جانبيـا علـى أقـدم الصخور المعروفة كما أنه يتفرع بصفة تكاد تكون دائمة، وهنـاك صعوبـات جمـة لتقدير المدى الزمني لعدم التوافق وخاصة في حالة عـدم التوافـق المحلـى، وذلـك بالاعتماد فقط على المظهر العام لسطح عدم التوافق.

أنواع عدم التوافق:

هناك أنواع عديدة من عدم التوافق ويمكن التميز بينها بالاعتماد على نـوع الصخور وتاريخ الحركات الأرضية وأهم أنواع عدم التوافق هي:

(أ) عدم التوافق الزاوى أو غير المنتظم (Angular unconformity)

(ب) عدم التوافق المتوازى أو المنتظم (Disconformity)

(جـ) عدم التواف المحلى (داياستم) (Diastem)

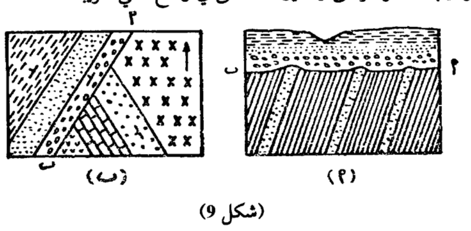
(د) اللاتوافق (Non – conformity)

(أ) عدم التوافق الزاوي:

يوضح شكل (9-أ) هـذا النـوع الشـائع مـن عـدم التوافـق، وفيـه تكـون الطبقات التي فوق وتحت سطح عدم التوافق غير متوازيـة، ويوضـح شـكل (9-ب) كيفية ظهور هذا النوع مـن عـدم التوافـق في الخريطـة الجيولوجيـة، ويمكـن

تفسير أسباب وجود عدم التواق الموضح في شكل (9-أ) إلى المراحل أو الخطوات الآتية:

1. ترسيب الحجر الرملى والطين الصفحى في وضع أفقي تقريبا.



(شكل 9)

عدم توافق زاوى

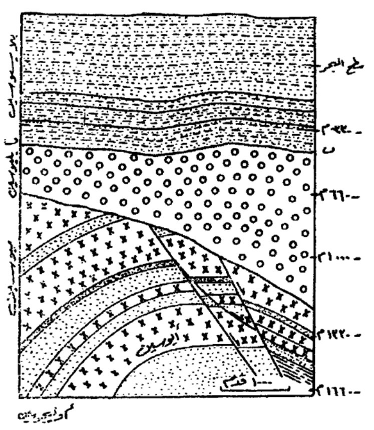
2. تأثير المنطقة بالحركة التكتونية مما أدى إلى ميل الطبقات ميلا كبيرا يصل مقداره لحوالي 70 .

3. كان من نتييجة الحركات الأرضية العنيفة ارتفاع المنطقة وتعرضها لعوامل التعرية بواسطة مياه الأنهار أو البحار ثم أصبح سطح الصخور ممثلا كما في الشكل بالسطح (أ-ب).

4. تقدم البحر وغطى المنطقة التي تآكلت ثم ترسبت الطبقات الجديدة التي تتكون من الكونجلمرات والحجر الرملى والطين الصفحى. وبالرغم من أن الصخور التي توجد فوق وتحت سطح عدم التوافق هي صخور رسوبية، إلا أن إحداها أو كليهما قد تتكون من صخور بركانية.

وتعتمد الدقة التي يمكن بواسطتها تحديد الزمن الذي تمت فيه الحركات الأرضية على عمر الصخور التي تتواجد على جانبي سطح عدم التوافق. فإذا كانت الصخور تحت السطح (أ-ب) تنتمى إلى العصر البرمى الاعلى، وكانت الصخور فوق السطح (أ-ب) تنتمى إلى العصر الترياسى الأسفل، فإن تشوه الصخور يرجع إلى أى زمن في الفترة المحصورة بين العصر البرمى المتأخر والعصر

الترياسى المبكر. ومن الأمثلة الواضحة لعدم التوافـق الـزاوى الـتي تعتمـد علـى نتـائج حفـر الآبـار تلـك الممثلـة في القطـاع المسـتعرض لحقـل بـترول كيمريـك بكاليفرونيا. ويتضح من شكل (10) أن سـطح عـدم التوافـق (أ-أ) يفصـل بـين صخور عصرى الميوسين والبليوسين. وقد تعرضت الصخور الميوسينية لعمليتـى الطى والتصدع قبل تعرضها لعامل التآكل والتعرية الذي نتـج عنـه سـطح عـدم التوافق (أ-أ)، ثم ترسبت بعد ذلك الصخور البليوسينية. أما سطح عدم التوافـق (ب-ب) فهو يفصل بين صخور البليوسين والبلايستوسين.



شكل (10)

عدم التوافق على أساس نتائج الحفر في حقل بترول كيمريك بكاليفرونيا

(ب) عدم التوافق المتوازى:

في هذا النوع من عدم التوافق تكون التكاوي، التي تغطى عـادة مسـاحات شاسعة، على جانبي سطح عدم التوافق متوازية كما أنها تمثل فـترة زمنيـة كبـيرة، وتمثل الأشكال (8-أ، ب، جـ) هذا النوع من عدم التوافق المتوازى.

(جـ) عدم التوافق المحلى (داياستم):

وهي تشبه لدرجى كبيرة عدم التوافق المتوازى، غير أنها على نطـاق محلـى أو محدود، كما أنها تمثل فترة زمنية قصيرة. ففي حالة ترسيب الرواســب القاريـة مثل الحصى والرمال والصلصال، فإن الأنهار قـد تغـير مجراهـا إلى الأمـام أو إلى الخلف عبر حوض الترسيب، فعلى سبيل المثال أثناء الفيضانات ينحر البهر مجراه عشرات الأقدام في العـرض وعـدة أقـدام في العمـق، ولكـن عندمـا تقـل شـدة الفيضانات بعد أيام أو شهور أو سنوات فإن المجرى يمتلئ بالرواسب مـرة ثانيـة، وبذلك ينشأ سطح لعدم التوافق المحلى الذي يمثل فترة زمنية قصيرة وعلى نطـاق محلى أو محدود جداً ويسمى هذا النوع من عدم التوافق (داياستم).

(د) اللاتوافق:

أو التباين وهو نوع من عدم التوافق الذي تكون فيه الصخور القديمة ذات أصل ناري أو متحول بينما الطبقات الأحدث عمراً ذات أصل رسوبي.

4. علامات النيم:

تنشأ علامات النيم على سطوح المواد قليلة التماسك بفعل التيارات المائية أو الهوائية. وتتكون علامات النيم المائية بواسطة الأمواج والتيارات في الرواسب الحبيبية أثناء ترسيبها، ولا توجد هذه العلامات مطلقـاً في الطـين. أمـا التيـارات الهوائية فيتسبب عنها علامات للنيم في الرمال أو الغبـار. وطبقـاً للعـالم (كنـدل) تتميز علامات النيم بثلاثة ثوابت هي:

طول الموجة (**Wave length**): وهـي المسـافة الأفقيـة بـين قمـتي متجـاورتين أو قاعين متجاورين.

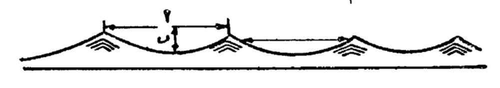
السعة (Amplitude): وهي المسافة الرأسية بين قمة وقاع علامة النيم.

معامل علامة النيم (Ripple index): وهو النسبة بين طول الموجة والسعة أي أن:

$$\text{معامل علامة النيم} = \frac{\text{طول الموجة}}{\text{السعة}}$$

علامات النيم الناشئة بفعل الأمواج:

تتميز علامات النيم الناشئة بفعل الأمواج والتي تسمى بعلامات النيم الاهتزازية أو علامات النيم المتماثلة بأن لها منحدرات متماثلة وقمم حادة وقاع مستدير كما في شكل (11) وقد شرح العالم (جلبرت) ميكانيكية نشأة علامات النيم الاهتزازية. ففي أثناء حركة الأمواج تتحرك جزئيات الماء في مدارات تكاد تكون دائرية على سطح الماء ثم تنتقل هذه الحركة إلى أسفل، ولكن المدارات الدائرية سرعان ما تتغير إلى مدارات بيضاوية يكون محورها الطويل في وضع أفقي وبالقرب من القاع فإن الأشكال البيضاوية تكاد تكون مسطحة وتصبح الحركة متأرجحة إلى الأمام والخلف.



(شكل 11)

علامات النيم الموجية وعلاقتها بالتطابق المتقاطع

وأى بروزات أو نتوءات تتواجد على القاع تحدد السرعات بالتبادل على الجانبين، وفي النهاية تنشأ مرتفعات ذات منحدرات متماثلة وقمم حادة، وترتب هذه المرتفعات نفسها بمجرد نشأتها. ويعتمد طول علامة النيم وسعتها على طول الموجة، ومدة تأثيرها، وعمق المياه. وبمجرد تكون علامات النيم الموجية فإنها تظل تقريباً في مكانها الأصلى ولا تتقدم للأمام أو الوراء، كما تظل القمة والقاع ثابتة في موضعها وذلك بشرط عدم زيادة شدة الأمواج، أما إذا قلت شدة الأمواج فإنها لا تؤثر عليها. وتتكون علامات النيم الموجية في الرمال التي

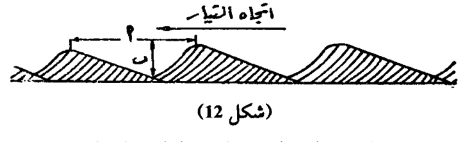
ترسب على قاع الأحواض الترسيبية والتي تؤثر الأمواج على مياهها، وبالتالي فإن حركة الأمواج تحرك رمال القاع. وتوجد علات النيم عادة في رواسب القيعان الضحلة لمعظم البرك والبحيرات أو البحار التي تتعرض مياهها لتيارات شديدة.

أما عمليات دفن وحفظ علامات النيم الموجية فإنها تكون سهلة إذا كانت رواسب الغطاء تترسب من مواد عالقة، ولكن هذا الحفظ يكون صعباً إذا كانت تيارات القاع تحرك الرواسب وبذلك تدمر تلك التيارات علامات النيم في زمن قصير وتطمسها رغم تماسكها، وبذلك يتضح أن سرعة دفن تلك التراكيب من الأمور الضرورية لحفظها، والأمواج الضعيفة لا تدمر علامات النيم الموجية، ولكن قد ينشأ عنها علامات أخرى للنيم قاطعة للعلامات الأصلية وذلك إذا كانت الأمواج الضعيفة قادرة على تحريك المياه. ومن المعروف أن طول الموجة يزداد من السطح إلى أسفل لأعماق محدودة ثم تقل بعد ذلك إلى أن تختفي. وحيث أن الأمواج الكبيرة لا تتكون في المياه الضحلة جداً، فمن الواضح عن علامات النيم الموجية التي تتكون تحت هذه الظروف تكون طول موجاتها وسعتها صغيرة وطبقاً لمشاهدات العالم (كنديل) فإن المياه التي عمقها أقل من 15 سم تتكون فيها علامات نيم تبلغ سعتها 5مم أو أقل. ولكن علامات النيم التي لها هذه الأبعاد قد تتكون أيضاً في المياه على جميع الأعماق. وتبعاً لذلك فإن علامات النيم الموجية ليست مقياساً حقيقياً للعمق الذي تكونت فيه، غير أن علامات النيم التي طول موجاتها وسعتها كبيرة تدل على أنها تكونت في المياه ذات أعماق متوسطة ويتفاوت طول موجة علامات النيم الموجية من 0.5سم إلى 50سم، ويتراوح غالبيتها بين 3سم، 12سم، أما سعة الموجة فيتراوح من 0.1سم إلى 4سم ويتفاوت معظمها بين 0.5سم، $1\frac{1}{2}$سم، أما معامل علامة النيم فيختلف من حوالي 4 إلى 10.

وعلامات النيم الموجية ذات أهمية كبيرة لتحديد اتجاه ووضع الطبقات حيث أن القمة الحادة تتجه إلى الطبقات العلوية، أما القيعان المستديرة فإنها تتجه إلى الطبقات السفلية، وبذلك يصبح من السهولة تحديد الطبقات العلوية والسفلية في التكاوين الصخرية مما يساعد على حل بعض التراكيب المعقدة.

علامات النيم الناشئة بفعل التيارات المائية:

تختلف علامات النيم التيارية عن علامات النيم الموجية بأنها غير متماثلة، وقممها مستديرة كما في شكل (12) وتحت سرعة معينة، تختلف تبعا للعمق وصفات الرمال، فإن التيار ليس في قدرته تحريك الرمال التي ينساب فوقها، غير أنه بازدياد سرعة التيار تبدأ بعض الحبيبات في الحركة. وتختلف شدة التيار اللازمة لتحريك الرمال باختلاف عمق المياه والصفات الطبيعية للرمال، فعلى سبيل المثال تبدأ الرمال الناعمة التي متوسط قطرها 0.04مم وتوجد على عمق 0.3 متر، الحركة عندما تصل سرعة التيار 0.26متر، ثانية بينما تبدأ حركة الحصى، الذي متوسط قطره 7مم ويوجد على عمق 0.66 متر، عندما تصل سرعة التيار إلى 0.86متر/ ثانية.



(شكل 12)

علامات النيم التيارية المائية والتطابق المتقاطع

(أ) طول الموجة (ب) سعة الموجة

وعندما تصل شدة التيار إلى النقطة الحرجة الأولى، فإنه يبدأ تكون علامات النيم على هيئة مرتفعات ذات انحدار صغير في اتجاه التيار بينما يكون الانحدار شديدا في اتجاه عكس التيار، وتتحرك الحبيبات إلى أعلى في اتجاه التيار ثم تتحرك ثانيا إلى أسفل في اتجاه عكس التيار. وقد توجد دوامات في اتجاه

عكس التيار وينشأ عنها أن الحبيبات الدقيقة تتحرك لمسافات قصيرة على المرتفعات في اتجاه عكس التيار.

وتهاجر علامات النيم التيارية في اتجاه التيار، رغم تماسكها في جميع الأوقات، وتتحرك نقط الحبيبات العلوية التي توجد في اتجاه التيار. ويكون الانحدار الشديد لعلامات النيم التيارية في الاتجاه السفلى للتيار. ويؤدي الاختلاف الكبير في اتجاه التيارات بالمياه الراكدة إلى نشأة علامات النيم تكون فيها المنحدرات في اتجاه عكس التيار مائلة في اتجاهات متعددة والتطابق الرقائقي في علامات النيم التيارية يكون موازيا للمنحدرات التي في إتجاه عكس التيارات، كما تتحدد ميولها تبعا لسرعة التيارات وكمية الرمال ولكنها لا تزيد عن 43 درجة ويكون مقدارها عادة أقل من 30 وفي حالة علامات النيم التيارية تتجمع الرمال الخشنة في القاع، أما الرمال الناعمة فإنها تتجمع في القمة وإذا كانت رواسب الرمال كثيرة، فإن علامات النيم تدفن بعد تكونها وبالتالي تتكون علامات جديدة فوق التراكيب السابقة. ويوجد تركيب رقائقى على الجانبين اللذين في اتجاه التيار وفي عكس هذا الاتجاه، وتشبه الطبقات كما لو كانت مجعدة تجعيدا غير متماثل.

وعلامات النيم التيارية وأشكالها المقلوبة تكون متشابهة، ومن المستحيل التمييز بينهما من شكلها العام، غير أنه بفضل الرقائق ذات التطابق المتقاطع والتي تصاحب علامات النيم التيارية وتتواجد على السطح العلوي الطبقة فإنه يمكن تحديد الاتجاه الحقيقي للطبقات. وتتكون علامات النيم التيارية في جميع الأعماق التي تتعرض لتأثير التيارات، فعلى سبيل المثال تتكون علامات النيم التيارية على أعماق تصل 250 مترا، وعلى ساحل نيوإنجلند على عمق حوالي 300متر، وبالقرب من جزر أزوروس على عمق 800 متر، وفي بعض القنوات بالقرب من جزر كناى توجد على عمق 2000 متر ويتضح من ذلك أن علامات النيم التيارية الكبيرة لا تتكون في المياه الضحلة جدا، ويتراوح طول موجة علامات النيم التيارية البسيطة من حوالي واحد سنتيمتر إلى 25 سنتيمترا، بينما

تتفاوت السعة من 0.5سم إلى 5سم، ومعظمها يتفاوت من 0.3سم إلى واحد سنتيمتر، أما معامل الموجة فيختلف من 4 إلى 20 ويتراوح في معظم الأحيان من 4 إلى 10، أما طول الموجة فإنها تزداد كلما زادت سرعة التيار.

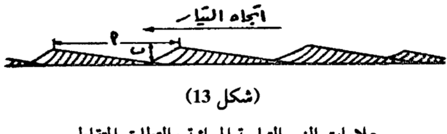
ونادرا ما تكون التيارات بسيطة، إذ إن كثيرا من علامات النيم التيارية تكون محصلة تيارات مركبة نتيجة اتحاد تيارين أو أكثر، وبذلك قد تتكون أنواع معقدة مثل علامات النيم اللسانية (Linguoid) وعلامات النيم معينة الشكل (Rhomboid) وعلامات النيم الاهتزازية المتقاطعة.

علامات النيم المائية وتركيب الرواسب:

تتكون علامات النيم المائية في حالة الرواسب المفككة التي توجد على شكل حبيبات دون اعتبار لتركيبها المعدني. وحيث إن معظم الرمال تتكون من الكوارتز، لذلك فإن غالبية علامات النيم تتواجد بالرمال وتكون محفوظة في الصخور الرملية (الكوارتيزية) ولكن كثيرا من الشواطئ وقيعان البحار قد تكون مغطاة برواسب حبيبية من الكلسيت والأراجونيت أو الدولوميت ومثل هذه الرواسب تحتوى على علامات النيم والتي تشبه تلك التي توجد في الصخور الرملية الكوارتيزية تحت نفس الظروف. وكثير من الصخور الجيرية بالعمود الجيولوجى يوجد بها علامات النيم الكبيرة والتي يتراوح طول موجاتها من 0.33 متر إلى 2متر، وتختلف في درجات تماثلها، كما أن قممها تكون مستديرة. ويتضح من ذلك أن علامات النيم التي تتكون تحت هذه الظروف تكون مركبة وقد أسهمت في نشأتها الأمواج والتيارات المائية.

علامات النيم الهوائية:

تتكون علامات النيم الهوائية دائما من النوع المبنى بالتيارات وغير متماثلة، ويكون ميلها أقل في اتجاه الريح وذات انحدار كبير في عكس اتجاه الريح كما في شكل (13) وتنشأ علامات النيم الهوائية في أي مادة مفككة مثل الغبار والرماد والرمال والثلج، ولكن غالبيتها ذات صلة وثيقة بالكثبان الرملية.



(شكل 13)

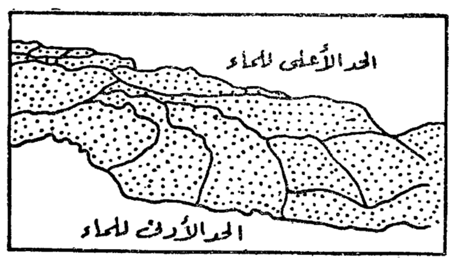
علامات النيم التيارية الهوائية والتطابق المتقاطع

(أ) طوال الموجة (ب) سعة الموجة

ويختلف طول الموجة وسعتها باختلاف سرعة الرياح وحجم حبيبات الرمال، فيزيد طول الموجة من 5سم إلى 10سم، أما معامل موجات النيم الهوائية فيتفاوت من 20 إلى 50. وفي حالة بعض الرمال الخشنة توجد موجات يصل طولها حوالي 25 سم أو أكثر. ونادراً ما تلاحظ علامات النيم الهوائية بالعمود الجيولوجي ولكن العالم (ما كاى) في عام 1934 ذكر وجود علامات النيم الهوائية في بعض الصخور الرملية التابعة للعصر البرمى في أريزونا بأمريكا.

5. علامات الموج:

علامات الموج عبارة عن نتوءات منخفضة جداً وضيعفة، وتوجد على طول الشواطئ الرملية، ويصل ارتفاعها عادة لحوالي $1\frac{1}{2}$ مم أما عرضها فيبلغ 3مم أو أكثر. وتتكون هذه العلامات على الحدود العليا للأمواج عند تلاطمها على الشاطئ. وعندما تتراجع مياه الأمواج عن الشاطئ فإن كل موجة تدمر كل علامات الموج السابقة وتبنى علامة خاصة بها. ونتيجة لهذه العملية فإننا نلاحظ أن علامات الموج تقطع ما يتلوها من علامات أعلى على الشاطئ كما في شكل (14) وهذه العلامة قد تساعد في التعرف على اتجاه وجود الرواسب بالنسبة للرواسب التي تتماسك وقت ترسيبها.



شكل (14)

علامات الموج

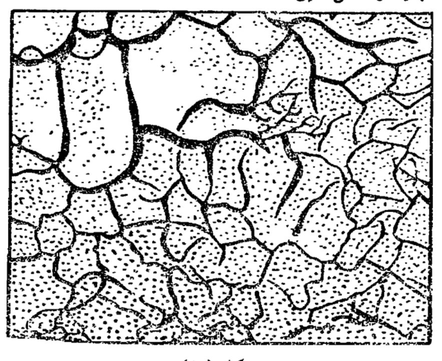
6. علامات الغدير:

توجد هذه التراكيب على الشواطئ وهي تنشأ نتيجة تفرعات صغيرة مثل فروع الشجر عندما تتراجع الأمواج العالية أو تنحسر مياه المد والجزر عن الشاطئ. والمواد الرملية الطينية التي توجد على الشاطئ عندما تغطيها المياه تصبح مشبعة بالماء، ولكن عند انخفاض منسوب الماء ينساب من على سطح الرواسب إلى مستويات منخفضة، وينشأ عن ذلك قنوات صغيرة تكون عادة على شكل فروع الأشجار. ويتفاوت عرض علامات الغدير من 2مم إلى 10مم، أما طولها فقد يصل لأكثر من نصف متر، ويصل عمق القنوات لحوالى ملليمتر واحد. وهذا النوع من العلامات الشجرية قد يوجد في بعض رواسب العمود الجيولوجى، بالرغم من ضآلة الظروف الملائمة لحفظ هذه التراكيب.

7. التشققات الطينية:

تنشأ التشققات الطينية، شكل (15)، التي تعرف أيضاً بالتشققات الشمسية أو التشققات الانكماشية: عندما تتفقد الرواسب ما تحتويه من ماء. وتحاط التشققات بأشكال متعددة الأضلاع تختلف في عدد أضلاعها وفي الزوايا بين هذه

الأضلاع. وتعتمد الاتجاهات والمسافات بين الأضلاع على صفات وسمك الرواسب؛ وسرعة الجفاف، وتوزيع الشوائب في الطين، ودرجة التطابق، وملوحة المياه التي تكونت فيها الرواسب، وصفات وكمية المياه بالرواسب السفلية. ونادراً ما تكون التشققات مستقيمة وقد تحاط بعدد من الأضلاع يتراوح من 3 إلى 8 ولكنه غالباً يتفاوت من 3 إلى 5.



شكل (15)

التشققات الطينية

وتتكون التشققات الطينية في جميع الرواسب المتماسكة لدرجة كافية والتي تتعرض لعوامل الجفاف. ويدل وجود التشققات الطينية في الغالب على وجود ظروف مناسبة للجفاف أثناء تكون الراسب، غير أن بعض الرواسب الطينية قد تتشقق تحت ظروف معينة وهي مغطاة بالماء. وقد يتكون طابع للتشققات الطينية على السطح السفلى للرواسب التي تتكون فوقها مباشرة، وهذه الطوابع قد تنشأ في رواسب لا تتكون بها تشققات طينية، كما أنها تختلف عن التراكيب الأصلية بأنها على هيئة نتوءات بارزة بدلا من المنخفضات التي تميز التشققات الطينية الأصلية.

ويتحدد موضع التشققات الطينية بأشياء أو مواد أو ظروف توجد بـالطين وتقلل من تماسكه مثل وجود قطع صغيرة من الخشب أو القش أو الشعر أو مواد نباتية. ويحتمل أن يؤدى وجود ثقوب بالطين إلى نشأة تشققات متعددة ومتشـعبة للخارج، كما تمتد الشقوق في الاتجاهات الأقل تماسكا. والتشققات الـتي تتكـون مبكراً تكون عادة أكثر طولا وعرضاً وعمقاً عن التشققات التي تتكـون متـأخرة. وإذا كان الطين متجانساً وله سمك منتظم وخال من المواد الغريبة والشوائب فإن التشققات التي تنشأ به تكون عادة على هيئة أشكال سداسية منتظمة.

ويتوقف عرض التشققات الطينية علـى صفـات وسمـك الطـين، ووفـرة الشوائب والمواد الغريبة في الطين، ونظام تكونها. وتكون التشققات أكـبر عرضـاً في الطبقات الطينية السـميكة، أمـا الرواسـب الطينيـة الرقيقـة فتكـون تشـققاتها متقاربة. والرواسب الطينية التي تحتوي علـى مـواد جيريـة أو رمليـة تتكـون بـها تشققات طينية متقاربة. وهناك اعتقاد بـأن الجفـاف البطـئ يـؤدي إلى تقـارب في التشققات الطينية، أما الجفاف السريع فيؤدى إلى عكس ذلك.

وتوجد التشققات الطينية بدرجة أكبر في الرواسب القارية وبدرجة أقـل في الرواسب البحرية، كما قد تنشـأ في سـهول بعـض الصحـارى. وتتوافـر أفضـل الظروف لنشأة التشـققات الطينيـة في السـهول الفيضانيـة والدلتـا بالمنـاطق شـبه القارية وغير المغطـاة بالأشـجار والنباتـات ففـى أثنـاء مواسـم الفيضـان تغطـى السهول الفيضانية والدلتا بالماء وتترسب طبقات من الطين، وعندما تنحسر الميـاه تجف الرواسب وتتكون تشققات من أنواع مختلفة تتفـاوت مـن الأنـواع الكبـيرة المتبـاعدة في طبقـات الطـين السـمكية إلى التشـــققات الصغـــيرة المتقاربـــة ذات المنحنيات في طبقات الطين الرقيقة.

والتشققات الطينية لها أهمية كبيرة مـن الناحيـة الجيولوجيـة بالإضافـة إلى أنها تساعد في التعرف على بيئة الترسيب، وقد يؤدي تكرار تشقق الرواســب إلى تدمير التطابق وتحول الرواســب الطينيـة إلى كتلـة متجانسـة غـير متطابقـة أو إلى بريشيا نتيجية للجفاف. وقد تساعد التشققات الطينية على حل بعـض الـتراكيب

المعقدة، إذ إن التشققات تمتلـئ بالرواسـب الـتي تغطيـها والـتي تختلـف عـادة في الصفات عن الرواسب الأصلية مكونة نتوءات تدل على اتجاه قاع الطبقات الـتي تتواجد بها التشققات، وبذلك يمكن بسهولة تحديد الوضع الحقيقي للطبقات.

8. التشوه المعاصر (المتزامن) للرواسب:

هناك اهتمام متزايد بدرسة تشوه الصخور غـير ناضجـة التكويـن، نتيجـة للقوى التي ليست لها علاقة بالحركات الأرضية. وهنـاك عـدة عوامـل تـؤدي إلى تشوه الصخور اللينة بعد ترسيبها ومن أهم هذه الأسباب ما يأتى:

(أ) الانزلاق.

(ب) التماسك.

(جـ) انسياب الرواسب للضغوط الرأسية من الصخور العلوية.

(د) الاندفاع بالعوامل السطحية.

(هـ) إعادة التبلور.

(أ) التشوه الناشئ بالانزلاق:

يحدث الانزلاق بالرواسب التي ليس لها أساس كاف، وقد يعزى ذلـك إلى الترسيب على سطوح شديدة الانحدار، أو زيادة كبيرة في مقدار الرواسـب علـى نطاق ضيق مما يؤدي إلى نشأة سـطح شـديد الانحـدار، أو إزالـة صخـور الغطـاء نتيجية لعوامل التعرية، أو هبوط مستوى الماء الأرضى، أو ذوبان الجليد. ويـتزايد احتمال الانزلاق كلما زادت كمية المياه في الرواسـب نتيجيـة لزيـادة احتمـالات الحركة وقد يحدث الانزلاق فوق سطح الأرض أو تحت سطح الماء.

وقد تترسب الرمال غير المستديرة إلى منحـدرات تصـل زاويـة ميلـها إلى 43°، بينما تترسب الرمال المسـتديرة علـى مسـتويات أقـل انحـداراً تصـل 38°، ولكنها لا تبقى في موضعها إلا إذا كان سمـك الرواسـب منتظمـاً علـى جميـع أجزاء المنحدر، إذ أن أى هزات خفيفة يتسبب عنها بدء الحركة والانزلاق. أمـا

المواد الصلصالية فهى لا تترسب مطلقاً على المنحـدارات الـتي تزيـد عـن 30°، لأن أى حركة بسيطة جداً تسبب انزلاقها، وكثير من حالات انزلاق الرواسب التي تحتوي على الصلصال معروف في رواسب ذات انحدار يـتراوح مـن 10 إلى 15°، ومن الأمثلــة علـى ذلـك أن انزلاقـاً كبـيراً قـد حـدث في بحـيرة تزوجـر بسويسرا في رواسب صلصالية يتراوح سمكها بين متر إلى 12 متراً وعرضها 25 متراً وامتداها يصل إلى عمق 45 متراً من الشاطئ ومترسبة علـى انحـدار قـدره $2\frac{1}{2}$°. وترسيب الرواسب تحت سطح الماء يحدث على سطوح يتفاوت ميلها من صفر إلى حـوالي 90 ، وقـد تعـزى الانحـدارات الشـديدة نتيجيـة للترسـيب او النشاط البركانى تحـت سـطح المـاء أو الحركـات التكتونيـة. وهنـاك مسـاحات شاسعة من قيعان البحار بالقرب من جزر الهند الغربية والشرقية واليابان وجزر الفلبين ومناطق أخرى توجد بـها سـطوح ترسـيب انحداراتـها شـديدة نتيجيـة النشاط البركاني والحركات التكتونية.

والترسيب السريع على النطاق المحلى يوجد على الأجزاء الأمامية للدلتـا، وخاصة تلك التي تترسب في مياه هادئة غير معرضـة لعوامـل المـد والجـزر وبـها أمواج وتيارات ضعيفة، وبذلك يـزداد ثقـل الرواسـب ممـا يـؤدي إلى انزلاقـها، ويحدث الانزلاق أيضا على نطـاق كبـير حـول الشـعب المرجانيـة، حيـث تبنـى الصخور العضوية عادة على منحدارات شديدة مما يسـاعد علـى الانـزلاق. وفي حالة الانهار فإن شق المجرى وملئه بالرواسب يساعد على تكون منحدرات علـى جوانب الأجزاء العميقة مما يساعد على انـزلاق الرواسـب. وينشـأ عـن انـزلاق الرواسب البحرية الظواهر الآتية:

1. تصبح الرواسب، التي كانت في الأصل على أعماق قليلة، بعد انزلاقـها علـى عمق أكبر.
2. زيادة سمك الرواسب وعدد الطبقات بعد الانزلاق.
3. قلة سمك الرواسب وعدد الطبقات في المواضع التي يبدأ عندها الانزلاق.

4. تغيير ترتيب الطبقات إذا تصبح صخوراً قديمة واقعة فوق صخور أحدث عمراً.
5. نشأة عدم التوافق محلي.
6. تتواجد الرواسب والحفريات المميزة لأعماق ضحلة على أعماق أكبر.

ويؤدي الانزلاق إلى نشأة طيات مقفولة غير متماثلة ومقاوبة في الرواسب التي توجد أسفل الانزلاق، بينما تتكون طيات مفتوحة غير متماثلة في الرواسب التي توجد على السطح العلوي للانزلاق، كما أن مستويات محاور الطيات تكون في اتجاه الانحدار. وفي نفس الوقت يحدث شد على محاور الطيات مما يؤدي إلى نشأة بعض الفواصل. والصور النهائية للتشوه نتيجة للانزلاق تعتمد على عدة عوامل أهمها ما يأتي:

(أ) سمك الطبقات المشتركة في عملية الانزلاق.

(ب) نوع وصفات الرواسب.

(جـ) نوع الطبقات التي تقع تحت وعلى جوانب الرواسب المنزلقة.

(د) درجة ميل سطح الترسيب.

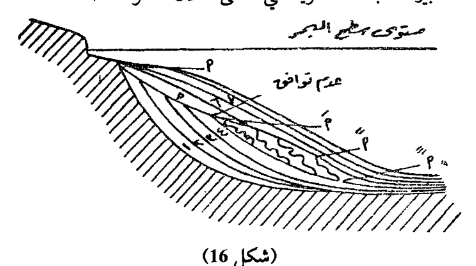
وإذا كانت الرواسب المنزلقة متماسكة لدرجة ما، فإنه يحتمل أن تتهشم مكونة بريشيا انزلاقية وإذا تواجدت حبيبات كبيرة مفككة بالرواسب فإن الانزلاق يتسبب في تركيز هذه المواد في مكان يختلف عن الصخور الرسوبية المحيطة بها وبذلك تتكون صخور كونجلمرات قاطعة لمستويات التطابق الأصلية، وبعد عملية الانزلاق فإن عوامل التآكل تحت سطح الماء قد تؤدي إلى تسوية سطح الصخور المنزلقة، والتي تترسب عليها صخور أخرى في عدم توافق كما يتضح في شكل (16).

(ب) التشوه الناشئ بالتماسك:

يحدث التشوه بالتماسك نتيجة لترسيب الرواسب على أجسام صلدة كما هو الحال في التلال المدفونة أو الشعب المرجانية أو عدسات من الحصى والرمال كما في شكل (17) ويعزى التماسك أساساً إلى طرد الماء، ومحاولة الوصول

لدرجة أعلى من تقارب الحبيبات واندماجات جديدة للرواسب. وقد يحدث التشوه نتيجية للتماسك في جميع أنواع الرواسب ولكنه يتواجد بدرجة ضيئلة في الرواسب التي تتكون من أصداف الحيوانات والرمال والمواد المفككة الخشنة، بينما يكون التشوه الناشئ عن التماسك ذا أهمية كبيرة في الرواسب دقيقة الحبيبات مثل الصلصال والطمى والطين الجيرى.

والتلال أوالشعب المرجانية المدفونة وكذلك عدسات الرمال والمواد المفككة الخشنة لا تتعرض للتماسك، أما الرواسب دقيقة الحبيبات التي تترسب فوق أو حول تلك التلال فإنها تتماسك لدرجة كبيرة. وينتج عن ذلك أن الصخور سهلة التماسك التي تغطى صخوراً عديمة التماسك تصبح بعد تماسكها مقوسة على شكل طيات محدبة، أو قباب تتوقف صورتها النهائية على شكل التلال المدفونة وتسمى مثل هذه الطيات بأنها طيات التماسك وقد تغطى مساحات كبيرة للطبقات العلوية التي تغطى التلال المدفونة الصلدة.



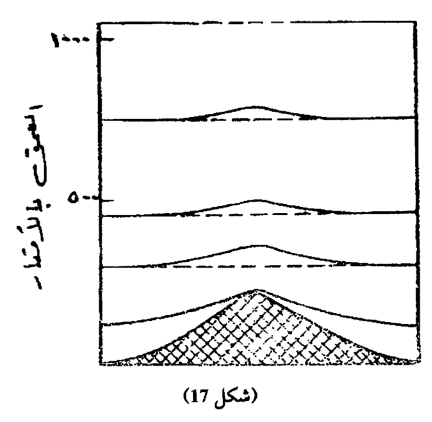
(شكل 16)

رسم تخطيطى يوضح تأثير الانزلاق على الرواسب

أ-أ = سطح بداية الانزلاق.

أَ-أَ = الانزلاق بعد التآكل.

أً-أً= السطح الذي تم عليه الانزلاق.



(شكل 17)

تماسك غير منتظم لطبقات من الصلصال يوجد تحتها هضبة من صخور متماسكة مما أدى إلى نشأة طيات محدبة

وبما أن طيات التماسك تعزى إلى التضاريس القديمة أو طبوغرافية قيعان البحار والمحيطات أو التلال والشعب المدفونة أو لوجود وحدات رسوبية عديمة التماسك، فإنه ينتج من ذلك أن تلك الطيات ليس لها نظام معين وذلك على عكس الطيات الناشئة لتعرض الصخور للحركات الأرضية.

(جـ) التشوه الناشئ بانسياب الصخور:

إن تراكم الرواسب ينشأ عنه حمل على الصخور السفلية، فإذا ازداد مقدار الحمل تفاضلياً في مكان معين (أي يختلف من موضع لآخر)، فإن الرواسب دقيقة الحبيبات تتحرك إلى الخارج تحت الأجزاء التي يكون فيها الحمل أكبر ما يمكن إلى المناطق ذات الحمل الأقل، وينتج عن ذلك تجعدها وطيها. وتبنى الشعب المرجانية على رواسب لينة تتعرض لضغوط رأسية من أعلى إلى أسفل مما يؤدي إلى انسياب الرواسب اللينة. وتنشأ القباب الملحية من الرواسب

التبخيرية نتيجة انسيابها اللدن تحت تأثير الضغوط الرأسية للرواسب العلوية وقد يصاحب نشأة هذه القباب تراكيب معقدة ناتجة عن الانسياب اللدن للصخور.

(د) التشوه الناشئ عن الاندفاع بالعوامل السطحية:

من المعروف أن تشوه الرواسب على نطاق كبير قد يحدث نتيجة اندفاع الصخور بواسطة الثلاجات والجبال الثلجية والكتل المنزلقة على الأرض والصخور وينشأ عن التشوه صخور من البريشيا وطيات مقلوبة وفوالق، بالإضافة إلى طيات بسيطة قد تتكون في المناطق البعيدة، وقد يكون التشوه شديد التعقيد كما في شكل (18). والاندفاع الناشئ عن بحر الجليد العائم في وقتنا الحالى قد يؤدي إلى تشوه الرواسب السفلية التي تقع مباشرة تحت الجليد.



شكل (18)

تشوه الرواسب نتيجة اندفاع الثلاجات

ومن البديهي أن التشوه ينشأ في طبقات معينة، قد تكون طبقة واحدة أو أكثر، في صورة أنواع مختلفة من الطيات والفوالق. والصلصال الثلجى لبحيرات عصر البلايستوسين يوجد به تشوه واضح بفعل الجليد العائم. وقد ينشأ تشوه محدود نتيجة لاندفاع جليد البحيرات على الشواطئ ورواسب القيعان الضحلة، ويأخذ التشوه عادة صورة الطيات والفوالق.

(هـ) التشوه الناشئ من إعادة التبلور والعوامل الأخرى:

يعزى التشوه لإعادة التبلور إذا كانت المعادن الجديدة أكبر حجما من المعادن القديمة مثل تحول الأراجونيت إلى كلسيت ويكون ذلك مصحوبا بزيادة

في الحجم قدرها 8.35 في المئة. وكذلك أيضاً تحول الأنهيدرايت إلى جبس ويكون مصحوباً بزيادة في الحجم قدرها 63 في المئة. ويوجد هذا النوع من التشوه بدرجية واضحة في الرواسب الملحية في ستاسفورد بألمانيا، وكذلك في رواسب الجبس والأنهيدرايب في نيوبرونزويك بكندا. وفي هذه الحالات يأخذ التشوه صورة مصغرة لطيات محدة ومقعرة تتراوح في أبعادها من 12سم إلى 20سم والرواسب التبخيرية التي تنتمى إلى العصر البرمى يوجد بها أيضاً تراكيب مشابهة ولكن بدرجة أكبر. وجدير بالذكر أن التشوهات الناتجة من تحول الأراجونيت إلى كلسيت غير معروفة.

وهناك عوامل أخرى للتشوه مثل استخراج الخامات المعدنية والفحم والمواد الأخرى من المناجم والمحاجر، واستنفاد حقول البترول وموارد المياه الأرضية والتي قد تؤدى إلى انهيار الصخور وتشوه الطبقات العلوية والمجاورة. وتحدث نفس الظاهرة في الكهوف الناتجة بفعل المحاليل التي تذيب الصخور سهلة الذوبان مثل الملح الصخرى، مما يؤدى إلى حالة عدم توازن ميكانيكى بين الصخور التي تتعرض للتشوه. وعلى سبيل المثال نذكر أن بعض الطبقات التي تحتوى على رواسب تبخيرية قد تتشوه لدرجة كبيرة مكونة طيات محدبة ومقعرة يصل عرضها حوالي 50 متراً وارتفاعها 6 أمتار أو أكثر. وتعزى هذه التشوهات أساساً إلى فعل المحاليل.

بعض صفات التشوه المعاصر للرواسب:

1. لا توجد علاقة بين الترتيب المتوازى للمعادن (التورق) والتشوه المعاصر للرواسب.
2. يكون التشوه محصوراً في المنطقة غير المتزنة ميكانيكياً أما الصخور التي توجد أعلى وأسفل هذه المنطقة فلا تتأثر بالتشوه.
3. قد تكون التشوهات المعاصرة مشطوفة (Bevelled) إما من أعلى أو من أسفل، كما قد توجد ظاهرة عدم التوافق.

4. تكون التراكيب بسيطة أو معقدة، كما توجد تراكيب معكوسة في نفس الطبقات على مدى مسافات قصيرة.
5. تمتلئ الفجوات الناتجة عن التشوه برواسب الصخور التي تحركت وليس بالمواد الناتجة بالترسيب من المحاليل.
6. وجود حدود فاصلة غير محددة بين الكتل المتحركة على سطوح الفوالق وقد يظهر بالطبقات ظاهرة السحب.
7. عدم تشوه بعض الأجسام الصلبة مثل المحارات أو حبيبات كبيرة مفككة.

9. الدرنات الصخرية:

الدرنات الصخرية عبارة عن تجمعات من مواد رسوبية غير عضوية في رواسب أخرى، وكثير منها يحتوى على نواة، أما تراكيبها الداخلية فيكون عادة مركزياً. وتكون الدرنات عادة ذات تركيب بطروخى وباذلائى، (أو حمصى). وتوجد الدرنات في جميع تكاوين الصخور الرسوبية غير المتحولة من أقدمها إلى أحدثها، وتنشأ الدرنات بطرق متعددة ونتيجة لذلك فإن لها أهمية خاصة من الناحية الترسيبية. وتختلف الدرنات الصخرية اختلافاً كبيراً في تركيبها ونادراً ما تتكون من مادة واحدة. وتتكون معظم الدرنات من الكلسيت والسيليكا والهيماتيت والليمونيت والسيديريت والبيريت والماركازيت والجبس والباريت والأراجونيت وأكاسيد المنجنيز وفوسفات الكلسيوم والفلوريت والبوكسيت وغيرها.

والدرنات السيليسية تكون غالباً على هيئة صوان وتشيرت وقليل منها من الكالسيدونى وكثيراً منها من الطمى السيليسي والرمال التي تتماسك عادة بمواد لاحمة من السيليكا أو الكربونات. وتوجد درنات الصوان والتشيرت عادة في الصخور الكربوناتية مثل الصخور الجيرية، أما درنات الطمى السيليسى والرمال فتوجد عادة بالطمى والصخور الرملية. وقد وصف العالم بروفل درنات من الكوارتز في رواسب من الجبس والأنهدرايت.

ودرنات أكاسيد الحديد شائعة الوجود في كثير من الصخور الرملية وتتكون من رمال كوارتيزية تتماسك بمواد لاحمة من الهيماتيت والليمونيت. وتتكون درنات أكاسيد الحديد أيضاً في رواسب بعض البحيرات وفي التربة وخاصة تلك التي تتكون من اللاتيرايت وقد توجد أيضاً في بعض الصخور الجيرية. أما درنات السيدريت فتوجد عادة بالصلصال الذي يحتوى على نسبة عالية من المواد العضوية، وتكاد تكون غير نقية على الإطلاق، ويكون الحديد في الأجزاء الخارجية على هيئة أكاسيد ودرنات البيريت والماركازيت تتكون أساساً من تجمعات بلورية ذات تركيب شعاعى وشكل كروي، ويوجد هذا النوع من الدرنات بالرواسب التي تحتوى على نسبة عالية من المواد العضوية كما توجد بوفرة في بعض أنواع الفحم والطين الصفحى البحرى ذات اللون الأسود.

وتوجد درنات الجبس في الطين الصفحى والصخور الرملية على هيئة كرات إسفنجية ذات أحجام صغيرة، ولا يزيد قطرها عن 5سم. وتتكون درنات الباريت واتي تسمى (الورد المتحجر) من تجمعات بلورية من الباريت الذي يكون مادة لاحمة للرواسب التي تتواجد فيها درنات الباريت.

وأكاسيد المنجنيز على هيئة بسيلوميلين (Psilomelane) أو الواض (Wad) تكون درنات برواسب المنجنيز الثانوية. كذلك توجد عقد من أكاسيد المنجنيز في قيعان البحار الحالية وكثير منها يتكون من رواسب أخرى بها مواد لاحمة من أكاسيد المنجنيز وبعضها يحتوى على نواة من صخور أخرى أو مواد عضوية.

وتتراوح أبعاد الدرنات من أقل من واحد ملليمتر في القطر من البطروخيات إلى كتل كبيرة كروية الشكل يصل قطرها لأكثر من أربعة أمتار وأشكال تشبه كتل الخشب ويصل طولها أكثر من ثلاثين متراً. ويعتقد أن الدرنات الكبيرة تتكون بصفة خاصة في الصخور الرملية وكذلك في الطين الصفحى أما الدرنات التي تنشأ بالصخور الجيرية والتي تتكون عادة من الصوان والتشيرت فيصل قطرها إلى مترين أو أكثر.

ويختلف شكل الدرنات الصخرية اختلافاً كبيراً، فبعضها يشبه الحيوانات والنباتات وبعض الأشياء التي يصنعها الإنسان مثل الحلقات والقنابل وغيرها. ومعظم الدرنات ذات أشكال بيضاوية أو كروية أو قرصية وأحياناً إسطوانية أو شجرية كما قد تكون ذات أشكال غريبة غير منتظمة. ويختلف سطح الدرنات أيضاً بدرجة كبيرة، فبعضها ذات سطوح مستوية ملساء ومتيزة عن الصخور المحيطة بها، بينما نجد الأخرى لها سطوح خشنة وغير منتظمة وتتدرج بالصخور المحيطة كما أن السطوح العلوية لبعض الدرنات قد تحتوي على خدوش.

أما التركيب الداخلي للدرنات الصخرية فقد يكون مركزياً أو رقائقياً أو إشعاعياً أو غير متبلور. وبعض الدرنات تتميز بتركيب داخلي رقائقي مركزي، وتكون بعض الرقائق ذات تركيب شعاعي ودرنات البيريت والماركازيت والكلسيت تكون عادة ذات تركيب شعاعي. وتتميز بعض الدرنات أحياناً بتركيب رقائقي أفقي والتي يعتقد أنها تمثل مستويات الترسيب، ويوجد هذا النوع من الدرنات عادة بالصخور الرملية وأحياناً بالطين الصفحي والصخور الجيرية. وفي بعض الأحوال تتميز بعض الدرنات الصخرية بتركيب البنية المخروطية المتداخلة، وقد تحتوي كثير من الدرنات على نواة تتكون من معادن مختلفة أو قطع من هياكل الحيوانات أو القشريات أو مواد عضوية.

10. الدرنات الشعاعية:

كثير من الدرنات التي تتكون عادة من الكلسيت تحتوى على شقوق أو عروق تمتد من السطح الخارجي إلى الداخل وتكون هذه الشقوق مملوءة تماماً أو جزئياً بمعادن مختلفة منها الكالسيت والباريت والجبس والماركازيت والبيريت والميليريت والجالينا والسفاليرت والكالكوبريت وغيرها. وإذا كانت الشقوق غير مملوءة، فإن المعادن عادة تكون على هيئة بلورات. ويقل سمك الشقوق في اتجاه المركز وأقصى اتساع لها على السطح الخارجي يكون عادة أقل من خمسة سنتيمترات وكثير من الدرنات الشعاعية تحتوى على سطوح ذات خدوش واضحة كما قد يتشمل بعضها على تركيب البنية المخروطية المتداخلة وتشبه

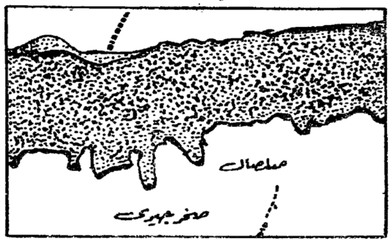
الدرنات الشعاعية بدرجة غير عادية الحفريات الناتجة من السلاحف وخاصة إذا كانت الشقوق ذات ترتيب متماثل. وعندما تتعرض الدرنات الشعاعية لتأثير المحاليل، التي تذيب المعادن المترسبة بالشقوق، فإن الدرنات تتفكك وتفقد شكلها الأصلي، وإذا أذابت المحاليل المادة التي بين الشقوق شبكية الشكل والتي تشغلها المادة المعدنية، فإنه ينشأ تركيب هيكلى يحتوى على العروق ومثل هذه البقايا الصخرية تسمى بالهيكل الصخرى وجدير بالذكر أن الدرنات تتواجد عادة في الطين الصفحى الذي توجد فيه أحياناً هذه الأشكال بكميات كبيرة.

11. الجيود:

الجيود عبارة عن أجسام مجوفة عقدية الشكل، توجد عادة في الصخور الرسوبية ويشبه شكلها الخارجى لدرجة كبيرة الدرنات الصخرية. والسطوح الخارجية للجيود تكون عادة خشنة، أما الفراغ الداخلى فإنه يكون مبطناً بمعادن على هيئة بلورات كاملة النمو أو مواد متبلورة وقد تتكون الجيود في أي صخر رسوبى نتيجة لترسيب المواد من محاليل جارية على جدران الفراغات الكروية أو البيضاوية الشكل. ومن الطرق الشائعة لنشأة التجاويف في بعض التكاوين الصخرية ترسيب المواد من المحاليل وأهمها السيليكا وكربونات الكالسيوم على سطوح وشقوق الأصداف البحرية. ويؤدي هذا الترسيب إلى زيادة اتساع الفجوات التي قد تبطن جدرانها فيما بعد ببلورات المعادن المختلفة والجيود التي من هذا الأصل توجد عادة في الطين الصفحى الجيري أو في الصخور الجيرية التي تحتوى على نسبة عالية من المواد الصلصالية، ويمكن مشاهدة جميع مراحل نشأة الجيود بالصخور من الزنبقيات والمسرجيات وأصداف الحيوانات الأخرى. والمعادن الشائعة الموجود في الجيود هي الكوارتز والكالسيدونى والكالسيت أما المعادن الأقل وجوداً فتشمل الدولومايت والباريت والسلستيت والسفاليريت والجالينا والكبريت وغيرها.

12. الزوائد الصخرية:

الزوائد الصخرية عبارة عن أعمدة ذات خطوط رأسية وأشكال هرمية ومخروطية الشكل والارتفاع والعرض توجد عادة بالصخور الرسوبية على مستويات التطابق والزوائد الصخرية التي توجد على السطح العلوى لأى طبقة تتداخل في السطح السفلى للطبقة التي تعلوها كما في شكل (19)



شكل (19)

ستيلوليت (زوائد صخرية) من الصلصال في صخور جيرية.

وتوجد الزوائد الصخرية بشكل واضح في الصخور الجيرية والدولوميتية ونادرا ما توجد بالصخور الرملية والكوارتزيت والجبس والطين الصفحى والتشيرت، ويتفاوت ارتفاع الزوائد الصخرية من أقل من ملليمتر واحد إلى أكثر من ثلاثين سنتيمترا ولكن معظمها يتراوح من 3مم إلى 20مم ومعظمها تكون مستقيمة والقليل منها على شكل منحنيات.

13. تركيب البنية المخروطية المتداخلة:

يوجد هذا التركيب عادة في الصخور الجيرية الصلصالية ويتكون من أجسام مخروطية الشكل متداخلة ومتوازية، وأحيانا يتكون التركيب من مخروط واحد فقط. وتتفاوت الأجسام المخروطية في طولها من أجسام صغيرة جدا إلى حوالى 20سم، لكن معظمها يترواح من سنتيمتر واحد إلى عشرة سنتيمترات.

ويتوقف قطر القاعدة على ارتفاع المخروط ومقدار زوايا القمة وأحيانا يكون طول المخروط وقطر قاعدته متساويين تقريبا، ولكن طول معظمها أكبر بكثير من أقطار القاعدة، وتتفاوت زوايا القمة من 15 إلى 100 وعادة تختلف من 30 إلى 60 وجوانب الأجسام المخروطية بسرعة نحو القاعدة مما يؤدي إلى أن تكون الجوانب مقعرة للخارج وتتكون معظم الأجسام المخروطية من خيوط من الكلسيت لها مقطع عرضى مستدير تقريبا والخيوط توازى عادة محور المخروط، ولكن بعضها قد يكون مائلا. ويوجد تركيب البنية المخروطية المتداخلة في الصخور الطينية متلازما مع الدرنات الصخرية. ومعظم الطبقات التي تحتوى على تركيب البنية المخروطية المتداخلة تكون عدسية الشكل. وهذه التراكيب شائعة الوجود في جميع الصخور الرسوبية الممثلة لجميع العصور الجيولوجية من العصر الكمبرى الأوسط إلى العصر الثلاثى.

14. انطباعات المطر وانطباعات البرد:

ينشأ عن قطرات المطر انطباعات دائرية أو بيضاوية على المواد الرملية والطينية غير المتماسكة. ويحيط بالانطباعات حواجز مرتفعة نتيجة لاصطدام قطرات الماء بالرواسب الرملية أو الطينية. ويكون عمق الانطباعات في حالة الرواسب الرملية أكبر من الرواسب الطينية، ويصل أقصى عمق للانطباعات إلى حوالى 3مم، أما عرضها فيتفاوت من 2 إلى 12مم. وتشبه انطباعات البرد (الجليد) إلى حد كبير انطباعات المطر، وعندما تكون دقيقة الحجم فإنه لا يمكن تمييزها عن بعض. وقد يسبب البرد انطباعات أكبر وأكثر عمقا من انطباعات المطر وأحيانا يبلغ قطر انطباعات البرد أكثر من 2 ملليمتر.

15. انطباعات الفقاعات:

قد تتصاعد الفقاعات الغازية أو الهوائية التي تتكون في الماء إلى قيعان المواد الطينية المترسبة حيث تبقى في مكانها بينما يترسب الطين حولها. وتتجمع الغازات في الرواسب إما من الهواء المحبوس بها أو نتيجة لعوامل التحلل

العضوى أو التخمر. وانطباعات الفقاعات تكون عادة منخفضات دائرية الشكل ذات حجم صغير وتتميز عن انطباعات المطر بسطوحها الناعمة وعدم وجود حواجز مرتفعة حولها، كما أنه قد يوجد تحتها أنابيب رقيقة، وتشبه تلك الأنابيب إلى حد كبير الحفر التي تنشأ عن الديدان. وانطباعات الفقاعات غير معروفة بصخور العمود الجيولوجي، ولكن من المحتمل أنها تكون موجودة ولكن لم يمكن التعرف عليها للشبه الكبير بينها وبين انطباعات المطر.

16. آثار الحيوانات:

تترك بعض الحيوانات البحرية أحيانا آثار انطباعات أقدامها في المواد الرسوبية دقيقة الحبيبات، وخاصة في حالة المواد الطينية التي تترسب في السهول الفيضانية للأنهار وتوجد هذه الآثار في جميع صخور العمود الجيولوجي منذ العصر الكمبرى. والآثار الناتجة عن الديدان والحيوانات الأخرى توجد بوفرة كبيرة في معظم الصخور، وهناك صلة وثيقة بين آثار الحيوانات والحفر الناشئة عن الديدان والحيوانات الآخرى.

٦

الفصل السادس

العلاقات المتبادلة بين الطبقات

الفصل السادس

العلاقات المتبادلة بين الطبقات

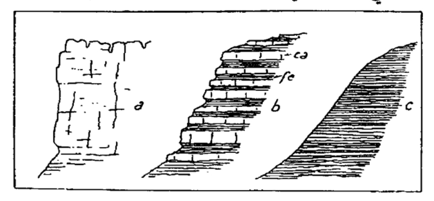
1- العلاقات المتبادلة بين الطبقات.

I . الطبقية والتورق.

تكون الصخور الرسوبية مرتصفة دائماً على شكل طبقات، متفاوتة في وضوحها، مهما كان أصلها. وهذه الطبقات المنفصلة عن بعضها البعض بواسطة سطوح أو فصلات joints الطبقية لا تزال تسمى strates أو سافات List ولهذا يقال إن الطبقات الرسوبية متطبقة (متنضّدة Stratifiees ou litees). فالطبقة هي إذن سماكة الأرض التي تملك تفرداً واضحاً وصفات صخرية (بتروغرافية) معينة.

إن صفاً أو سافاً banc كلسياً هو طبيْقة strate، وطبقات المارن الشيستية التي تفصل بين الصفوف الكلسية المتعاقبة هي طبقات strate . ولكن الطبقة Couche هنا ليست متجانسة، لأنها مؤلفة من وريقات متعاقبة تكون جميعاً من طبيعة واحدة. ففي الحالة الأخيرة، وعندما يكون لدينا سمك كبير من الصخور الرسوبية، نستعمل غالباً عبارة litage أو تورق feuilletage، ونحتفظ بعبارة طبقية للمجموعات المؤلفة من طبقات مختلفة (مارنو- كلسية ومارن، خرسان وشيست ميكاسي أو ميكاوي micaces ..إلخ). وعندئذ يتكرر تعاقب الطبقات بانتظام وعلى سماكات عظيمة أحياناً، مما يعطي الصخر مظهراً مخططاً مميزاً عندما لا تكون الطبقات سميكة جداً (مارن- كلسي نيوكومي، خرسان Taveyannaz وخرسان شامبسور..إلخ). وعندما تكون الطبقات strate، كحالة الكلس النقي في التشكلات الرصيفية، فإن الصخر يتخذ حينئذ شكلاً متكتلاً (شكل 1).

ويمكن للطبقات أن تمتد على رقعة كبيرة جداً، خاصة عندما تكون قد تشكلت في مياه عميقة، ولكنها قد تصبح رقيقة أو تتحول إلى شكل عدسة، عندما تكون الظاهرة التي كانت تغذي الترسب قد توقفت عن العمل.

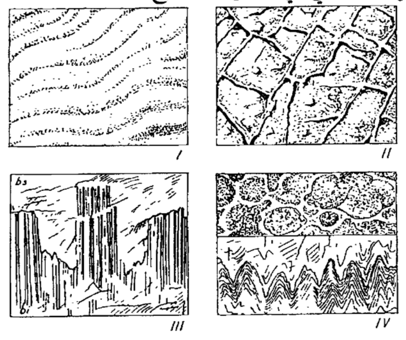


شكل 1 التطبق والتورق. A، كلس متكتل (كلس مرجاني مثلاً أورغوني) (جرف أو جدار falaise). B، مارنو- كلسي (سافات bancs أو طبيقات strate كلسية، ca، مفصولة عن بعضها بطبقات متورقة. Fe). (حدور عنيف الانحدار). C، مارن متورق (انحدار لطيف). تكون في الحالات الثلاث الطبقات مستمرة ومتوافقة Concordantes.

وقد يحوي سطح فصْلات joints الطبقيـة أحياناً بـوادر عـدم الـترتيب: وتسمى الجعدات التموجية ripple- marks أو آثار التيارات، أو الريح، أو آثـار الأمواج، وتصدعـات وشـقوق الـتراجع retrait الناجمـة عـن التجفـف، وآثـار قطرات المطر، وآثار الحيوانات، وبنية المخاريط المتداخلة cone in cone وبنيـة عمدية. ولا تزال الأشكال الأخيرة عبارة عن شذوذات غريبة، غير مفسـرة، إذ تكون على شكل مخاريط أو أعمدة صغيرة محـززة تتعشّـق ببعضـها مـن طبيقـة لأخرى bancs (شكل 2).

وتتراءى الطبقية، وهي صفـة أصيلـة للصخـور الرسـوبية، بنسـق نطـاقي للعناصر، وباصطفاف البقايا المستحاثة، وتنم فصْـلات الطبقيـة عـن توقّفـات في الترسب. وتكون هذه الفصْلات أحياناً متموجة (مثل السافات الكلسية في طبقـة Wellenkalk (قاعدة الترياس الأوسط) الجرمانية، المفصولة عن بعضها بطبقـات

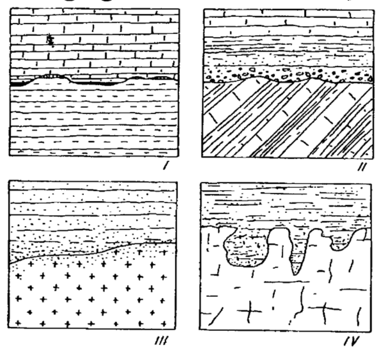
مارنية). كل هذا يدل على أن الشروط التي تنظم الترسب في حوض ما تكون متبدلة جداً. ولو كانت هذه الشروط، على العكس، غير متبدلة، ولو كانت المواد الفلزية المجلوبة دائماً هي ذاتها، لكان تركيب التوضع متجانساً والطبقية مفقودة. وهناك أمر يظل عسير التفسير ونقصد به الترسب الدوري، ذلك الذي أنتج تناوبات متكررة للغاية مؤلفة من سافات صغيرة مارنية- كلسية ومن مارن متورق مثلاً. ولا نزال نجهل حتى الآن تقريباً معرفة أصل التبدلات الصغرى والمتكررة في البيئة، والتي هي لا غنى عنها لشرح هذه البنية.



شكل 2 منظر سطح الطبقات (فصْلات joints). I، إشارات الجعدات التموجية ripple- marks (آثار الموجات أو الريح) (حث أحمر ترياسي). II، تصدعات (شقوق التجفف المملوءة برمل) (حث "حجر رملي" ترياسي). III، ستيلوليت، عمديات (الساف الأسفل bi، وهو أكثر قساوة، تدخل في الصف الأعلى bs، فأعطى عميدات صغيرة مشققة). IV، بنية "مخروطة متداخلة" (بالأعلى سطح السافات، بالأسفل، مقطع) (كامبري، بجبال الأطلس الكبير بالمغرب). والشكلان الأولان مصغران جداً، بينما الشكلان الآخران بالحجم الطبيعي.

كما نجهل أيضا الزمن الذي اقتضاه تشكل سماكة معينة من الراسب. ولأول وهلة، يجب أن يكون هذا الزمن شديد التنوع وعلى علاقة بغزارة المواد؛ فيكون نسبيا قصيرا بالنسبة لتشكل صخور حطامية أو لترسيب كيماوي، ويجب أن يكون أطول من ذلك بالنسبة لتشكل صخور بحرية تنتج عن تراكم جزيئات معدنية دقيقة جدا عامت قبل أن تتوضع. وفضلا عن ذلك، يجب أيضا أن ندخل بالحسبان الزمن الذي تستغرقه الفواصل الزمنية بين الطبقات المتعاقبة.

وهكذا نرى كم تكون عرضة للشك تلك الأرقام المطلقة عن مدة الأزمنة الجيولوجية المستندة إلى الطرائق الرسوبية. إذ لم يتم الترسب بسرعات مختلفة فحسب بل، حتى بالنسبة لعصر معين، سنرى أن هذا الترسب كان متبادلا للغاية حسب المناطق. فتلك الطبقة التي يتجاوز سمكها بضعة أمتار في الحوض الباريسي تتخذ في جبال الألب أو البيرينيه سماكة تبلغ بضع مئات من الأمتار.

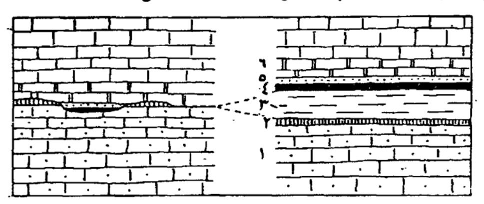


شكل 3 تنافر الطبقية أو التطبق. I، تنافر بسيط II، تنافر زاوي. III، تنافر فوق غرانيت متفسخ (بالأعلى، آركوز). IV، تنافر حاصلات التأكلس في تجاويف صخر كلسي.

II. التوافق والتنافر Concordance et discordance

عندما تكون طبقات أرض ما مرتصفة بانتظام على شكل رموز متوازية بعضها فوق البعض الآخر، يقال هناك توافق في الطبقية. وهذا يستدعي استمرار الترسب وثبات الشروط المختلفة التي أنتجته.

ولكن قد يصدف أن تتابع الطبقات لا يكون مستمراً وأن الطبقات العليا لمجموعة تكون ملتصقة فوق سطح مخرّش للطبقات السفلى. فيقال حينئذ أن هناك تنافر وهذا التنافر يمكن أن يكون بسيطاً أو زاويّاً، وذلك فيما إذا كانت الطبقات السفلى موازية تقريباً للطبقات العليا (شكل 3)، أو على العكس، في اتجاه مائل جداً بالنسبة لهذه الطبقات، التي تقطعها حينئذ على شكل مشدوف en biseau. وإن تنافر ما يقتضي بالضرورة وجود انقطاع في استمرارية الترسب؛ أي ثغرة طبقية. فبعض الطبقات، أو بعض مجموعات الطبقات التي ترسبت في أمكنة أخرى، حيثما كان الترسب مستمراً، نفتقدها هنا (شكل 4)



شكل 4 ثغرة طبقية زمرة ثغرية (تنافر بسيط، إلى اليسار، الطبقة رقم 3 مفقودة). على اليمين زمرة كاملة، مستمرة.

وتنتج هذه التنافرات أحياناً عن حركات الأرض، فتكون حينئذ جزيلة الفائدة لتأريخ التخلعات Dislocstions وبالتالي تأريخ السلاسل الجبلية، لأنها تعتبر كقرينة لظواهر الالتواء الهامة أحياناً، والتي أعقبتها أدوار حتية متفاوتة في حدتها وفي مدتها.

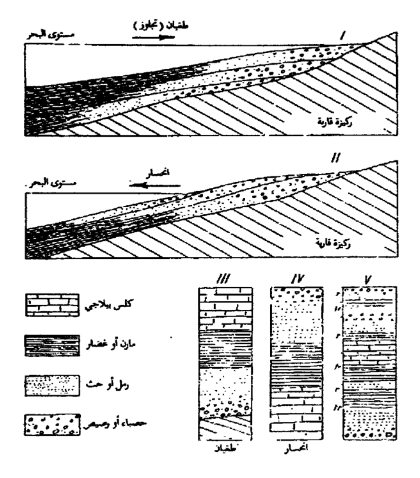
ولكن وجود ثغرة لا يستدعي بالضرورة وجود حركات تكتونية (بنائية) مصحوبة بعوم emersion، لأننا نعرف بالواقع ثغرات تسمى رسوبية ناجمة إما عن انعدام الترسب في فترة معينة، وإما عن كشط طبقات موجودة بواسطة التيارات البحرية العميقة. وتمسح الملاحظة الدقيقة لسطح السافات حينئذ بكشف طبقات مبرية، محمرة وأحياناً محفّرة بفعل عضويات من آكلات الوحل أو cavicoles، مما يدل على نحت تحتمائي بحري. ودراسة المستحاثات تؤكد من ناحية أخرى وجود هذه الثغرات.

III. الطغيانات والانحسارات.

يقال إن الطبقة ما هي طاغية عندما تمتد على نطاق واسع فوق أساس تنفصل عنه بثغرة هامة.

ويكون سطح هذا الأساس، غالباً، متصلباً، مخدّداً ومثقباً بفعل عضويات من آكلات الصخر الساحلية وتبدأ الطبقات الطاغية في أكثر الأحيان برصيص Conglomerat يحتوى على حصباء من الصخور السفلى (شكل 5). وتشير الطغيانات إلى فترة اجتياح القارات من قبل البحار، فهي تشمل إذن سطحاً عظيماً وتستدعي بالضرورة خفساً تدريجياً اعترى الأراضي العائمة. ودراسة الوحشيات، التي تكون هنا مختلفة جداً، وهي التي توضح سعة الثغرة ومداها.

وتطلق عبارة الانحسار على ظاهرة معاكسة؛ وتكون طبقة ما منحسرة عن السابقة عندما تكون أقل اتساعاً منها. وتتألف الزمر المنحسرة من توضعات متناقصة العمق تشهد على نهوض عام للركائز القارية.



شكل 5 الطغيان والانحسار.I ، مخطط لطغيان.II، مخطط انحسار.III، مقطع لزمرة طاغية. IV، مقطع لزمرة منحسرة. V، تعاقب طغيانات وانحسارات في زمرة مقعدة (دورة رسوبية).

2- تحديد أعمار الطبقات.

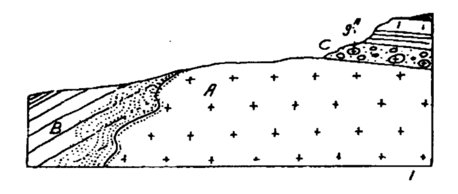
لا يمكن التكلم هنا إلا عن عمر نسبي، لأننا إذا كنا قد استطعنا، بالنسبة للصخور الاندفاعية، الكلام عن عمر مطلق، فإن الأمر يندر أن يكون ممكناً بالنسبة للصخور الرسوبية.

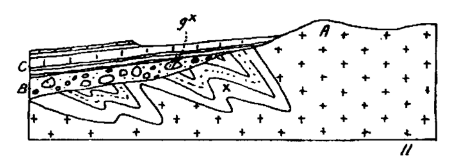
وهذا العمر يمكن تحديده بواسطة فحص بسيط لتعاقب الطبقات، حسب مبدأ واضح، هو مبدأ التنضد Superposition الذي يمكن أن يفسر على الصورة التالية: إذا كان نظام التوضّع عادياً؛ أي لم يتعرض للاضطراب بحركات أرضية، فإن طبقة معينة تكون سابقة للتي تمتطيها، وسابقة للتي تقع تحتها.

وهكذا نقيم ما يمكن تسميته مقطعاً محلياً. وفي أبسط الحالات، يضم مقطع كهذا تعاقباً من طبقات معروفة جيداً ومن طبيعة صخرية مختلفة: حث، كلس، مارن مثلاً. والتعاقبات من هذا النوع هي التي استطاعت في بادئ الأمر أن تلفت أنظار أوائل الباحثين والتي لا يزال المنقبون والعاملون في المقالع يلاحظونها. وعندما تكون الطبقات حاوية على مستحاثات، فإن التقاط المستحاثات، التي تختلف غالباً من طبقة لأخرى (وقد يمكن العثور على مستحثات مميزة)، يضيف إلى الحجة الليتولوجية الحجة الاستحاثية لتمييز الطبقات. وتكون هذه الحجة مفيدة جداً عندما نكون أمام تعاقب من طبقات متماثلة جميعاً ومتوافقة، وذات بنية متورقة، مثلاً: فتمييز الانقطاعات يكون هنا استحاثياً فقط. ولكن في هذا الحالة، لا تختلف المستحاثات كثيراً عن بعضها بين طبقة وأخرى لأن الوحيش قد تطور على الغالب محلياً.

أما في حالة طبقات متنافرة، فهناك تضاد جلي بين زمرتين من الطبقات، كما يكون الوحيش في الزمرة السفلى دائماً مختلفاً جداً عن وحيش الزمرة العليا الطاغية. وسنرى بالفعل أن عودة البحر تكون مصحوبة على العموم بتجدد في الوحيشات (فونا).

حالة فريدة: عمر زمر اندفاعية ومتبلورة تورقية: عندما نكون تجاه كتلة غرانيتية مندسة في زمرة رسوبية، وأدت إلى تحولها، فالمسألة تقتضي معرفة عمر استقرار الباتوليت في مكانه (شكل 6، I). ويعطي عمر أحدث الطبقات، الحاوية على المستحاثات، التي أصابت التحول، الحد الأدنى للاستقرار، لأن الغرانيت أحدث من هذا الرسوبي، وأن عمر أقدم أرض تحتوي على حصباء من الغرانيت المذكور تعطي حداً أعلى فعمر الغرانيت يكون منحصراً إذن بين هذين الحدّين.





شكل (6) عمر زمرة متبلورةI ، تحديد عمر كتلة غرانيتية، إن عمر الغرانيتA ينحصر بين عمر أحدث الأراضي(R) الذي عمل على استحالتها (الحد الأدنى) وبين عمر الرصيص (C) الذي يحتوي منها على حصباوات (gA) (الحد الأعلى) .

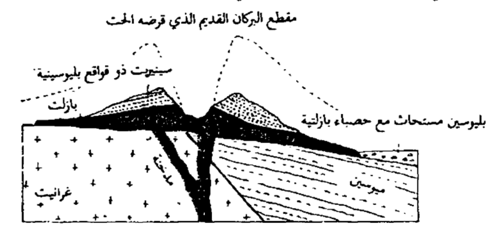
II، تحديد عمر مركب تورقي (X): لقد أمكن تحديد (وهذا ليس دائماً سهلاً)أن X تعود للديفوني الذي تحول بواسطة الاستحالة، غير أن الأرض B، التي تعود للكاربونيفيري الأعلى، تضم حصباء من X (g X) وتنتسب الاستحالة العامة إذن إلى عمر كاربونيفيري أسفل أو أوسط.

ولكن لا يكون دائماً من الميسور الحصول على تأريخات دقيقة جداً في أكثر الأحيان الاكتفاء بعمر تقريبي.

أما بالنسبة للمركّبات المتبلورة الورقية Cristallophylliens، فالمسألة مزدوجة، إذ يجب أولاً تحديد عمر الرسوبات التي أصبحت متبلورة، ثم عمر التحول. ولا يمكن حل النقطة الأولى إلا باكتشاف مستحاثات في أقل الصخور

المتبلورة الورقية تحـولاً، أو التعـرف علـى الانتقـال التدريجـي لصخـور رسـوبية مؤرخة جيداً، وإن حالات كهذه هي نادرة جداً ولكنها موجودة. ولتحديد عمـر الاستحالة، تتخذ الطريقة التي اتبعت بالنسبة للكتل الغرانيتية، أي يجب اكتشـاف حصباء من الزمرة المعينة. وأحياناً لا يمكن حل أي من هاتين المسألتين فـلا يمكـن تحديد المركّبات الاستحالية إلاّ تقريبياً، عن طريق موقعـها بجـوار تشـكلات ذات عمر معروف.

أما فيما يتعلق بالصخور المتدفقة (شـكل 7) فمـن الواضـح أن عرقـاً مـن البازلت مثلاً يكون أحدث من الصخر الذي يخترقه وأقدم من كل صخـر يسـتره أو يحتوي على حصباء من هذا البركان، وفضلاً عن ذلك فإن عرقـاً مُصالِبـاً هـو أحدِث من عـرق مُصـالَب. كمـا يسـتنتج عمـر مسكوبة coulee مـا مـن عمـر الرسوبات التي تقدمت من فوقها أو من التي تغطيها.



شكل 7 تحديد عمر الصخور البركانية.

يعود البركان هنا للبليوسين الأعلى (نموذج براكين الكتلة المركزية).

طبقية الصخور المتبلورة التورقية: لا يمكن استعادة تصور الطبقيـة القديمـة وإثباتـها في مركـب صخـري متـورق إلاّ في حـالات نـادرة بسـيطة. وفي أغلـب الأحيان، يجب أن نقتصر على البحث عن موضـع التـورق، وهـي صفـة ظـاهرة دائماً والـتي تحـل محـل طبقيـة الأراضـي الرسـوبية، وكذلـك الحـال في نطاقـات الاسـتحالة المتسـاوية isometamorphisme. وسـتقام هـذه النطاقــات بدراســة

تجمعات الفلزات mineraux حسب غروبنمان ولكن بالنسـبة لبعـض المنـاطق لا تؤلف الزمر التقليدية على شكل نطاقات لهـذا المؤلـف وهـي فـوق epi، أوسـط meso، وتحت cata، أقول لا تؤلــف مجموعـات جيولوجيـة واضحـة جيـدا لـذا وجب تبني سلما آخر للفلــزات. ولهـذا مـيز العالمـان J.Jung وM. Roques في الكتلة المركزية الفرنسية من الأسـفل للأعلـى، ابتـداء مـن الميغمـاتيت (صخـور شيسـت متبلـورة محقونـة بغرانيـت): نطـاق الغنـــايس أو النطـاق الصفـاحي (الفلدسباتي) وينقسم ذاته إلى غنايس أسـفل متمـيز بوجـود فريـد لميكـا سـوداء وغنايس أعلــى حيـث توجـد الميكـا السـوداء إلى جـانب الميكـا البيضـاء. نطـاق الميكاشيست أو النطاق الكوارتزي التورقي وينقسم إلى ميكاشيســت سـفلي مـع نوعي الميكا المجتمعتين والميكاشيست العليا حيث لا نجد سـوى ميكـا بيضـاء مـع بعض الكلوريت وبعض السيريسيت Sericite. ونلاحظ أمرا هاما هـو أن جبهـة الميغماتيت تختلف باستمرار من الشمال إلى الجنوب، وهكذا نجـد في الجنـوب، في منطقة سيفين والجبل الأسود، أن هذه الجبهة تقــع في الميكاشيســت الأعلـى، وفي منطقـة رويـرغ Rouergue، نجدهـا تـهبط في الميكاشيســت الأدنـى، بينمـا تبلــغ الغنايس الأعلى في مناطق ليمـوزان، كانتـال، ومنطقـة ليـون، وإلى الشـمال مـن ليموج وبريـود Brioude وفي منطقـة شـارولية Charolais تظـل الجبهـة، كمـا في أقصى شمال الكتلة (مورفـان)، في الغنـايس السـفلي. وقـد أمكـن تطبيـق هـذا التصنيف بنجاح في جبال الفوج.

3- تواقت Synchronisme الطبقات أو تزامنها.

من الأهمية بمكان مقارنة مقاطع محلية ومحاولة إجراء مقاربة بين طبقاتــهما لصنع ما يســمى بالتواقتـات أو التزامنـات. وبـالواقع كثـيرا مـا تكـون علاقـات التأريخ متماثلة لأن المقاطع المتجاورة مؤلفة من طبقات متشابهة بكل دقة.

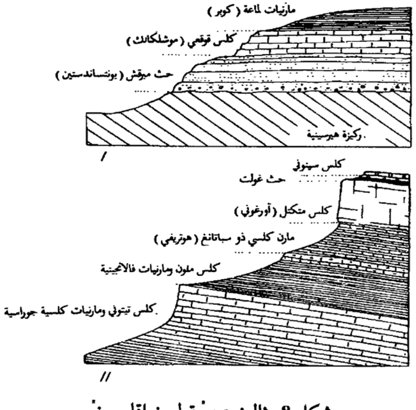
ولكن لا يمكن أن نعتمد فحسب على الارتفاع النسب للطبقات للحصول على تواقتات. ورغم أن الطبقات من نفس العمر فإنها كانت متوضعــة بـالأصل حسب مستويات أفقية، فلا تكون طبقة مـا دائمـا في امتـداد الأخـرى، لأن هـذه

الطبقات استمراراً محدوداً، كما أن وجود كسور مصحوبة بتفاوتات في المستوى ممكن دائماً. ويكون هذا المبدأ أحياناً مغلوطاً حتى في المناطق ذات البنية المائدية حيث ظلت الطبقات أفقية، ولكن خاصة بالنسبة للحقيات الرباعية، ولا سيما بالنسبة للطبقات المرتصفة على شكل مصاطب، لأن أقدم الطبقات هنا، تكون على العكس، في الأعلى.

وإذا ما أخذنا بعين الاعتبار هذه الملاحظات، وبعد فحص بسيط لتعاقب مقاطع محلية، نستطيع حينئذ إقامة مقطع إقليمي هو بمثابة مفتاح طبقي لمنطقة ما. وهكذا لاحظ الجيولوجيون القدامى، في جبال الفوج وفي اللورين (شكل I،8)، أن أوائل الأراضي الأفقية التي تغطي بشكل متنافر طبقات الحقب الأول المنتصبة، كانت تضم دائماً ثلاث فئات هي من الأعلى للأسفل: صخوراً مارنية حمراء جبسية وملحية (كوبر)، وكلساً قوقعياً (موشلكالك) وصخوراً حثية (رملية)مبرقشة (Butsandstein) ومنها اسم اشتق اسم ترياس الذي أطلق على هذا المجموع الذي يصادَف، دون تغير كبير، في قسم كبير من أوروبا. كما لوحظ في الحوض الباريسي أيضاً وجود ثلاثة مستويات رملية منفصلة عن بعضها بطبقات كلسية أو غضارية: وهي الرمال السفلى، والوسطى، والعليا. أما في الجبال شبه الألبية في مقاطعتي الدوفينة والسافوا فإن تناوبات الحدورات talus والجروف falaises الناجمة عن اختلافات في قساوة الطبقات هي التي أدهشت أوائل الباحثين (شكل II،8) كما يمكن تكرار الأمثلة في هذا المضمار.

وهكذا فإن الاهتمامات الليتولوجية، أو بعبارة أخرى طبيعة الطبقات المتعاقبة والموجودة دائماً في الترتيب نفسه، على مستويات كبيرة، سمحت، خلال زمن طويل، وعند تطبيق مبدأ آخر يسمى مبدأ الاستمراريةcontinuite، بصنع تواقتات لحد ما. وكان يمكن تخمين أن طبقات من التركيب نفسه كان يجب أن يكون لها العمر ذاته وكان هناك، بالتالي، نوع من استمرار في الترسب.

غير أن هذا الزعم على غاية من الخطل، لأننا نعرف الآن أن طبقات من العمر نفسه يمكنها أن تظهر تحت مشاهد شديدة الاختلاف وأن مبدأ الاستمرارية هو دائماً على خطأ.



شكل 8 مثالين عن مقطعين إقليميين.

I، ترياس الفوج واللورين. II، الحافة شبه الألبية (جوراسي وكريتاسي).

والواقع هو أن استمرار الطبقات قد يدخل عليه الاضطراب بفعل الحت أولاً، ثم بفعل الاستحالة، ولكن خاصة بواسطة حوادث الطغيان وتبدلات السحن (شكل 9).

الطغيانات

لقد رأينا أن زمرة ما تكون طاغية عندما تمتد على نطاق واسع فوق أساس substratum تكون منفصلة عنه بثغرة هامة. إنها إذن عبارة عن رسوبات توضعت من قبل بحر اجتاح تدريجياً سطحاً قارياً كبيراً نوعاً ما. ويكون سطح

هذا الأساس مخدداً أحياناً وتبدأ الطبقات الطاغية عموماً بواسطة صخر رصيص. ولكن بما أن الرصيص الأساسي ينم عن حافة البحر الجتاح، فإن هـذا الرصيـص لا يكون دائماً من العمر نفسه، مع أنه يحتفظ في كل مكان بالمشهد ذاتـه. وينطبـق الأمر نفسه على الطبقات الأخرى، ويمكن القـول إنـه، في زمـرة كـذا، لا تكـون الطبقات التي من نفس الطبيعة الليتولوجية متواقتـة بكـل دقـة وتكـون مقطوعـة بشكل مائل بواسطة نطاقات من العمر نفسه (طوابق). وهكذا نجـد في النموليـتي الألبي أن الساف الكلسي نفسه يمكن أن يكون لوتيسياً في نقطة مـا، بينمـا تكـون بريابوني Priabonien في نقطة أخرى (شكل 9، I) .

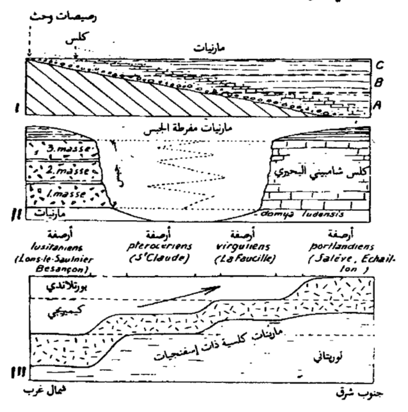
السِحَن Facies.

تطلق عبارة سحنة على مجموع الشرائط الجغرافية والبيولوجية المحليـة الـتي حـددت الطبيعـة الليتولوجيـة لتوضـع مـا، وكذلـك الأمـر بالنسبة للتجمعـات الحيوانية والنباتية التي يحتويها هذا التواضع. وقد كان للبحار القديمة، مثل بحارنا، لاغوناتـها (بحيراتـها السـاحلية)، وسـواحلها، وأرصفتـها المرجانيـة، وأغوارهـا الكبيرة، كما كان فوق القارات حينئذ أنهار، وبحيرات، وصحاري...إلخ. أعطيت توضعات مختلفة، ولكنها معـاصرة، متميـزة بمستحاثات خاصـة بـهذه السـحن. فيقـال كـان هنـاك سـحن سـاحلية، مرجانيـة، لاغونيـة، عميقـة، بحيريـة، صحراوية...إلخ.

غير أن السحن قد تعتري سلسلة من طبقـات في الزمـان أو في المكـان، أو بآن واحد في المكان والزمان.

لنكرر مثالنا عن الترياس: فالفحص المتعمق والمقارن للطبقات الثلاث التي تؤلفه يُظهر لنا أن الحث المبرقش الأساسي هـو عبـارة عـن رمـال قديمـة كثبانيـة متصلِّبة (حبات كوارتز مدورة وغير مصقولـة، طبقيـة متصالبـة)، وأن الصخـور الكلسية الموجودة فوق الحث هي توضعات بحرية قوقعية (نيريتية، قواقع بحريـة)، وأخيراً تكون الغضاريات الحمراءالختاميـة عبـارة عـن رسـوبات قديمـة لاغونيـة (جبس وملح صخري). ويُسـتنتج مـن ذلـك أنـه كـانت هنـاك قـارة صحراويـة

تعرضت تدريجياً لاجتياح على شكل طغيان بحري، ثم تبخر هذا البحــر تدريجيــاً محلياً وتحول إلى بحيرات ساحلية (لاغونات). ولدينا إذن مثال جميــل عــن تعــاقب مظاهر مختلفة جداً في الزمان.



شكل 9 تجديد تواقت الطبقات. I، استمرار الطبقات المضطرب بفعل طغيان (السحن تكون مائلة بالنسبة للطوابق C,B,A). II، تبدل السحن في المكان: الانتقال من جبس مونتمارتر إلى ترافيرتان شامبيني في وادي المارن. III، تبدلات السحن في الزمان: هجرة أرصفة مدخات في جوراسي جبال الجورا الفرنسية (م. جينيو).

ولكن تبدلات كهذه في السحنة يمكنــها أن تحصــل في المكــان؛ أي في فــترة معينة من تاريخ الأرض. وهكذا نجد في الحوض الباريســي أن جبــس مونتمــارتر اللودي يتحول إلى كلس شامبيني البحيري في وادي المارن (شكل 9،II).

وقد استطاع العالم هيبير Hebert عند ملاحظته للطبقات التي تتداخل فيــها تشكلات مختلفة السحنة، أقول استطاع منذ عام 1860 أن يحدد تواقتــها. والواقــع هو أن صخور الجبس الباريسية وصخر كلس شامبيني تكون جميعا محصــورة بــين

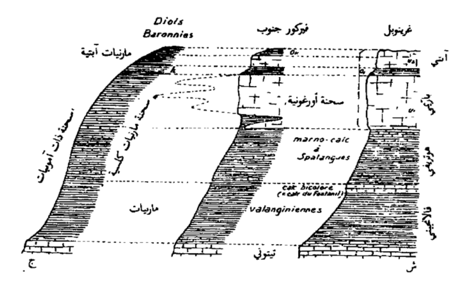
مستويات معروفة جيداً، هي صخور المارن ذات Pholasomya Ludensis بالأساس، وصخور المارن الفوق جبسية في الأعلى. وقد أمكن إثبات ذلك التكافؤ مباشرة أثناء حفر قنال المارن الجانبية، قرب شاليفير Chalifert، حيث برزت السحنتان وهما متداخلتان ببعضهما البعض من دون غموض. إذن، في هذه الحالة، تسمح الطريقة الطبقية القائمة على استمرار الطبقات الحاضنة encaissantes بتحديد تواقت طبقة ما تبدلت سحنتها؛ ويجب أيضاً أن يكون الترسب بالضرورة مستمراً في كلتا الزمرتين المقارنتين.

ولكن يجب أن نعترف أن حالات كهذه تكون نادرة نوعاً ما وفي أكثر الأحيان، تضاف إلى تبدلات السحنة في المكان تبدلات في الزمان؛ أي أن السحن تصعد حينئذ بشكل مائل في زمرة الطوابق الجيولوجية.

وهناك مثلان، عن تطور السحن الرصيفية خلال الجوراسي الأعلى والكريتاسي، مثلان يوضحان لنا هذه النقطة.

ففي الزمان الذي لم تكن تبدلات السحن قد دخلت بعد في المجال الجيولوجي المألوف، كان العلماء يقبلون بأن الصخور الكلسية السميكة الرصيفية التي تندمج في الجوارسي العائد للحافة الشرقية للحوض الباريسي، بين الأوكسفوردي والكريتاسي، كانت كلها من العمر ذاته وتمثل طابقاً مرجانياً Coralline. وفي كل مكان تظهر فيه مثل هذه الصخور الكلسية، وذلك إلى الجنوب من تلك المنطقة، وعلى الأخص في السافوا وبجوار غرينوبل، كان يقال عنها إنها عبارة عن الطابق المرجاني Corallien. وفيما بعد، وبوقت متأخر، أدرك الجيولوجيون بعد مناقشات حادة، أنهم تجاه سحنة لم تكن من نفس العمر في كل الأمكنة، وأنها تزداد حداثة كلما اتجهنا نحو الجنوب (شكل III،9). وهكذا أصبح مفهوماً أن الأرصفة هي لوديتانية عند Saint-Clausse و Lons-le-Saunier وكيميرجية في منطقة Saint-Claude و la Faucillon، وأخيراً تصبح بورتلاندية عند Saleve، وChambery وعند Echaillon قرب غرينوبل. وقد نتجت هجرة المدخات (بولبيات) جنوباً عن تعديلات مناخية وعن تفرُّد نطاق استوائي حار.

هذا ويكون تاريخ الأورغوني، وهو تشكل رصيفي متدخل في الكريتاسي الأسفل، مماثلاً (شكل 10). ومع أنه يمثّل آلب السافوا في البرتغال، من حيث الصفات اللتيولوجية نفسها، فإن عمره يكون متبدلاً؛ فهو بارّيمي وآبثي أسفل في السلاسل شبه الألبية بالمنطقة الدوفينية والسافوية وقسم من البروفانس، ويطابق الآبثي في جبال البيرينيه (كلس أورغوني- أبثي) وحتى الآلبي Albien في شبه جزيرة إيبريا. ومن المفيد أن نذكر كيف حددت تواقتات هذا الأورغوني مع الطوابق التقليدية المتميزة بنطاقات الأمونيات؛ أي بمستحاثات تملك قيمة تأريخية مستقلة عن السحن. ففي جنوب مدينة غرينوبل نشاهد انتقالاً جانبياً من الجروف الأورغونية العائدة لمنطقة Vercors نحو الصخور المارنية الكلسية لمنطقة Diois. والأساس الأقصى للأورغوني، المؤلف من صخور كلسية صفراء، يشتمل هنا على أنواع الـHoplites الموجودة في الطبقات الانقالية من البارّيمي إلى الهوتريفي. والطبقة السفلى ذات Orbitolines التي تظهر في الثلث العلوي من الأورغوني (الكتلة الأورغونية السفلى) بارّيمية. وأخيراً فإن الأورغوني، الذي يقع فوق الطبقة السفلى ذات Orbitolines (الكتلة الأورغونية العليا) يكون نفسه مغطّى بطبقة عليا ذات Orbitolines تضم، في منطقة Vercors، آمونيات تعود للآبثي الأسفل وتتحول في منطقة Diois إلى صخور مارنية آبثية. وهكذا نجد أن السحنة الرصيفية الأورغونية تقابل بالتالي، في أوروبا الغربية، البارّيمي والآبثي الأسفل.



شكل 10 تبـدلات السـحن في الكريتاسـي الأسـفل، في جنـوب شـرق فرنسـا. الانتقال من الزمرة البحرية الساحلية (النيريتية neritique) في ضواحي غرينوبـل (طوابق ليتولوجيـة) إلى الزمـرة العميقـة للحفـرة vocontienne (مـارن وكلـس ومارن) حيـث لا تكـون الطوابـق محـددة بنطاقـات الأمونيـات. O، طبقـة ذات أوربيتولين سفلى، o، طبقة ذات أوربيتولين عليا. Ui، كتلة أورغونية سفلى. Us، كتلة أورغونية عليا. J، مارن ذو Heteroceras.

وهكذا نرى أن مبدأ الاستمرارية لا قيمة له إلا إذا قبلنا بتبـدلات السـحنة وأن تدخل علم المستحاثات الطبقي يكون هنا أمراً لا محيد عنه.

وفي كثير من الحالات، وحيثما يكون اسـتمرار الطبقـات مفقـوداً، تصبـح الدراسة المتعمقة للمستحاثات هي وحدها الـتي تسـمح بتحديـد تواقتـات علـى مسافة طويلـة، ولقـد رأينـا أن الـ Craptolithes وثلاثيـات الفصـوص بالنسـبة للحقب الأول، والأمونيات بالنسبة للحقب الثاني، والفقاريات بالنسبة للثـالث، تستطيع خاصة، في هذا الحالة، أن تقدم خدمات جلّى.

ولكننا نعلم أن بعض مستحاثات السحنة يمكن أن تسـتخدم أيضـاً لعمـل انقطاعـات في النطاقـات: مثـل المدخـات والنباتـات بالنسـبة للحقـب الأول، والروديسـت Rudistes بالنسـبة للحقـب الثـاني، وكبـار المنخربـات (فلسـيات، Orbitoides) بالنسبة للثالثي. ويمكن للتكافؤ بين سلالم مستحاثات السـحنة هـذه

وبين السلالم التقليدية للمستحاثات المميزة، يمكن تطبيقه حينئذ في مناطق تشابك السحن التي تسمح باكتشاف مستويات شاهدة جيدة وحيث تكون هذه المستحاثات فيها مختلطة (مثال تداخلات intercalations بحرية في الوستفالي ذو النباتات في شمالي فرنسا وتداخلات طبقات رأسيات الأرجل في سحن قوقعية أو رصيفية، طبقات بحيرية تفصل طبقات بحرية ذات فلسيات... إلخ).

4- الطبقية والتكتونيك.

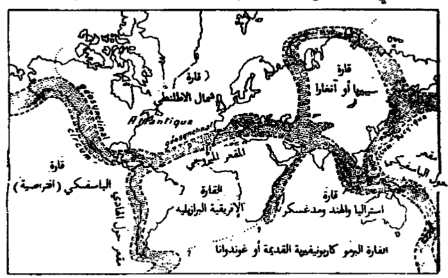
من العسير على عالم طبقي (ستراتيغرافي) مهتم بالتركيب ألاّ يكون عالماً تكتونياً، لأنه، كما سنرى بعد قليل، أن حركات الأرض (التي تؤلف دراستها علم التكتونيك) هي التي تؤدي إلى الطغيانات والانحسارات البحرية وتنظيم توزع وتراكم الرسوبات[1] . لهذا نعتقد أنه من المفيد الإلحاح منذ الآن على العلاقات المتبادلة بين هذين الفرعين من الجيولوجيا.

يقود التاريخ الجيولوجي للأرض، إلى بناء وتهديم السلاسل الجبلية المتعاقبة. ويشتمل كل من دورات هذا التطور، الذي يشغل فاصلاً زمنياً عظيماً، يشتمل على مرحلة تحضير رسوبية تعقبها مرحلة التوائية رئيسية. ولكن حركات الأرض تستطيع أن تتدخل باكراً جداً، خلال المرحلة الرسوبية، وتكون المرحلة الالتوائية مصحوبة دائماً بحتٍّ شديد يفتتح المرحلة الرسوبية للدورة التالية. وهكذا انتصبت بضع سلاسل على سطح الكرة الأرضية، كالسلسلة الهورونية، وهي أقدمها (سابقة للكامبرية)، والسلسلة الديفونية (قبل ديفونية)، والسلسلة الهيرسينية (كاربونيفيرية) وأخيراً السلسلة الألبية، وهي أحدث هذه السلاسل، والتي وقعت في آخر الحقب الثالث.

غير أن لدن التحضير الرسوبي لكل دورة، تكون الجغرافية القديمة تحت هيمنة عنصرين أساسين هما الرقع القارية، وهي حجرات Compartiments صلدة

(1) وهذا ما سمح لنا سابقاً بفهم سبب كون نطاقات السحن تكون في أغلب الأحيان مطابقة للنطاقات التكتونية.

نسبياً من القشرة الأرضية، والمقعرات الأرضية (هوغ)، (شكل 11) التي تتجول بين هذه القارات وهي عبارة عن حفر ترسب حقيقية تكون أساساً غير مستقرة.



شكل 11 شكل المقعرات الأرضية والرقع القارية خلال الحقب الثاني (عن هوغ).

أ- الرقع القارية.

بالرغم من اشتهار هذه الرقع بأنها مستقرة، فإن الحركات المولدة للجبال (الأوروجينية) تخلق فوق الرقع المذكورة انقطاعات عمودية أو فوالق failles (صدوع وهي شواهد على نقص في مرونة الركيزة، وطيات ذات قطر انحنائي كبيرة (طيات القاع حسب آرغان Argand) تؤدي لنهوض أو إلى خفس يعتريان مناطق واسعة. فالمناطق الخافسة تصبح حفر الانهدام أو حوضات انكباس subsidence (شكل 12)، وهي بقاع مختارة لتراكم الرواسب التي يمكن أن تكون، حسب الحالات، بحيرية (وداي الراين و Limagnes خلال الأوليغوسين أو بحرية (حوض باريس أثناء الحقب الثاني والثالث). ولكن هذا الترسب الانكباسي subsisente، المتميز بسماكته وبرتابة سحنته التي تكون عموما قليلة العمق، وتغذيها مناطق بارزة تطيف المنخفضات، لا تؤدي مطلقا إلى تحولات استحالية.

وفوق النطاقات القارية البحتة تتولد صخور من نموذج خاص مثل اللحقيات النهرية، والحطامية أو الجمودية والتشكلات الصحراويةالكثبانية أو

المروحية الانفراشية epandage، وكل الصخور التي تنتج عن ظواهر التفكك (بطحاء أو آرين arene، آركوز) أو عن التأكلس decalcification (تربة حمراء، غضاريات متبقية ذات صوان، رمال وغضاريات نارية، لاتيريت، بوكسيت، طف...إلخ). وهذه الزمر القارية تتميز بتنوعها الكبير، وبقلة ثخانتها وبلونها الأحمر أحياناً (أوكسيد الحديد).

أما النطاقات الهامشية للرقع القارية، التي يحتلها بحر ضحل يتكئ على القارة وغني بالعضويات وتخترقه تيارات عديدة (عتبة قارية) فإنها ستكون مقر ترسب بحري ضحل وغني بالحيوانات، قليل السماكة، ولكن على غاية من التنوع. فأقل الحركات التي تعتري القشرة (كتذبذب عمودي للقارات، التواء المقعرات الأرضية المؤدية إلى طفح محتواها). تؤدي في هذه النطاقات، إلى اجتياحات بحرية أو على العكس إلى انحسارات، مما ينتج عنه وجود ثغرات طبقية عديدة.

ب- مناطق المقعرات الأرضية.

إنها عبارة عن أخاديد واسعة ذات قاع متحرك ومرن تترجم عندها الجهود التكتونية، على العكس، بالتواءات حقيقية، ومنذ وقت باكر جداً، انبعثت منها تجعدات واسعة أو طيات جبارة مركّبة Geanticlinaux، تطفو أحياناً على شكل سبحات من الجزر المتطاولة (وتسمى حينئذ كورديللير Cordilleres) تتمدد فيها بينها حفرات من مقعرات أرضية بكل معنى الكلمة، وهي مقر ترسب ناشط (شكل 12).

وفوق السفح الخارجي للحفرة، الملتصق بالرقعة القارية، تأتي لتتكدس، على شكل حدور talus كل أنقاض القارة المنقولة بواسطة الأنهار والتي تقتلعها الأمواج كي تتوزع أخيراً لما وراء النطاق المجاور للقارة بفعل التيارات تحت البحرية. وإلى "فخاخ" الرسوبات هذه، وهي نوع من أحواض فوق قارية epicontinentaux انكباسية، يعطى اسم مقدمات الحفر avant-fosses، حيث تتكدس الرسوبات الأرضية المنشأ والفقيرة بالعضويات وذات السحنة البحرية facies bathyal. وعلى مسافة منها؛ أي في عرض البحر، ليكون قاع الحفرة

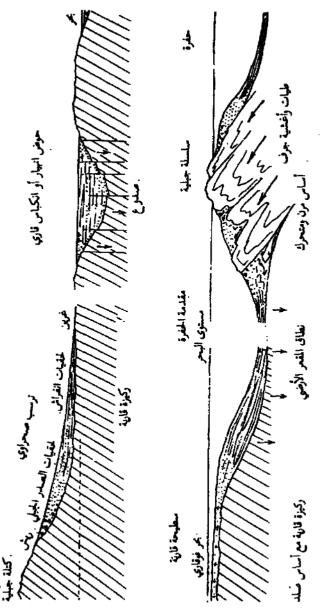
مفروشاً بتوضعات دقيقة بحرية (بيلاجية) (وحول حاوية على فصيلة الغلوبيجرين أو الشعاعيات) التي تتلاحم مع الحافة المتصبة للكورديللير بواسطة نطاق من رسوبات عضوية المنشأة أو حطامية، وذلك حسبما تكون هذه الكورديللير مغمورة أو على العكس عائمة. وينتج عن ذلك كون الترسب في مستوى الكورديللير، أحياناً، متميزاً بوجود ثغرات، وصخور بريش (بريش الانهيار)، فضلاً عن لون أحمر ناجم عن التشكلات الحديدية الصخرية التي تتشكل فيها أثناء مراحل العوم، ومن ناحية أخرى لا يكون هذا الترسب سميكاً جداً أبداً، حتى ولا في خلال مراحل العمر.

وفيما وراء مقدمة الحفرة وأول كورديللير يأتي مجال الحفرة الكبرى الجيوسنكلينالية التي قد يكون قاعها غير الثابت مضرساً بمحدبات جبارة جديدة. وتحل محل البريس الهامشية والترسب النيريتي بسرعة زمر سميكة أرضية الأصل وعميقة بجوار الحدور talus ذات مستحاثات نادرة، ومؤلفة خاصة من وحول رملية نوعاً ما لا يظهر فوقها سوى دروب الديدان ومعديات الأرجل.

من الواضح أنه لا يمكن تفسير رتابة المظهر وثخانة هذه الزمر الجيوسنكلينالية، إلا بانخفاض تدريجي لقاع الحفرة الذي يحتفظ بعمق ثابت يحميها من الردم. ولكن توقف حركة التعمق سيؤدي بسرعة إلى الردم.

وهكذا فإن الفترة الختامية من تاريخ مقعر أرضي ما؛ أي الفترة التي تسبق المرحلة التكتونية المحتدمة، تكون متصفة بترسب ناشط جداً، ترسب ردمي حقيقي، يتخذ حينئذ صفة غير متجانسة واضحة: فتتناوب فيه صخور الشيست، والحث (الغريه) مع عدسات سميكة من الرصيصات، ويكون الجميع خالياً عادة من المستحاثات (باستثناء الآثار العضوية). ويطلق على هذه المركبات complexes السميكة، المتكررة إلى ما لا نهاية وحيث يكون كل تقسيم مستحيلاً، اسم 'الفليش Flysch' في جبال الألب. ويكون للسلاسل القديمة 'فليشها' أيضاً، وهكذا يكون ما يسمى 'كولم Culm' الكاربونيفيري في جبال الفوج والكتلة المركزية

هو عبارة عن فليش السلسلة الهيرسينية التي تصادف زمر مقدمة الحفرة في منطقـة الآردين.



شكل 12 مخطط نظري يظهر مختلف نماذج الزمر الرسوبية (عن جينيو). بالأعلى زمر رسوبية قارية (صحراوية وانكباسية). بالأسفل زمر رسوبية بحرية (رسوبات فوق قارية نيريتية، ترسب مقدمة الحفرة، ترسب في مقعر أرضي مع كورديللير...إلخ).

ويجب أن نلاحظ أن هذه الزمر الجيوسنكلينالية السميكة، الملتوية بعنف، تتناقص بغرابة مع زميلتها الزمر فوق القارية، الهادئة دائماً، الرقيقة والمتنوعة. ويزداد هذا التباين شدة عندما تتدخل، أثناء تعمق الحفرة المفرط، الاستحالة العامة التي شوهت دائماً الرسوبات التي تتكدس في الحفرة.

وبغية تثبيت الأفكار، نأخذ مثالاً على ذلك هو السلسلة الألبية، وهي نموذج ممتاز لسلسلة جيوسنكلينالية. وإجمالاً نستطيع تمثيل النطاق فوق القاري بالنسبة لفرنسا بمشارف avant-Pays الكتلة المركزية وجبال الفوج. إنها السلاسل شبه الألبية للنطاق الخارجي، مع تشكلاتها النيريتية وصخور المارنو- كلسية الثخينة، والتي تمثل ترسب مقدمة الحفرة. ونصادف الترسب الجيوسنكلينالي في النطاق الداخلي مع تشكلات الكورديللير البريانسونية brianconnaises وحفرها المردومة بالفليش والرسوبات التي أصبحت استحالية في نطاق 'الشيست اللماع Lustres' الذي تم تولده في الحفرة الكبرى الألبية.

5- التراكيب الطبقية (الستراتيغرافية).

إن القيام بعمل تركيب طبقي يعني دمج المعطيات السابقة لاستعادة تمثيل الجغرافية القديمة للأرض (الباليوجغرافية) في المكان، وفي مختلف العصور، ثم في الزمان.

وكل تركيب، لكي يكون مقبولاً، يجب أن يكون متناسقاً ولا يشتمل على تناقضات: فيجب أن يستطيع أن ينسرد على شكل فيلم. والجيولوجي عندما يقارن المقاطع الإقليمية يبذل عناية فائقة، بالبدء، في سبيل تحديد التواقتات، ولدراسة النطاقات ذات السحنة الواحدة التي تؤدي إلى رسم نطاقات السحن المتكافئة أو نطاقات isopiques، وذلك بالنسبة لكل عصر.

ويمثل هذا الجهد يمكن، بالنسبة لكل فترة من تاريخ الأرض، رسم الحدود الخاصة للقارات والبحار، وبالنسبة للقارات ترسم مع بحيراتها وصحاريها ولاغوناتها وحفرها الانكباسية، وبالنسبة للثانية ترسم مع سواحلها، ونطاقاتها فوق القارية والجيوسنكلينالية. وستضم الرسوبات المتواقتة حسب الوحدات

الكبرى للجغرافية القديمة مما يساعد على تكوين فكرة واضحة عن مشهد مجموع الأرض في العصر المقصود.

وبعدئذ يمكن التعرف على الجغرافية القديمة المقارنة في الزمان وذلك بمحاولة ربط تمثيلاتنا المتعاقبة لها ببعضها بصورة نحصل معها على تركيب بدرجة أعلى تعبر، من دون تعثر، عن تطور وجه الأرض خلال الأعمار الجيولوجية. وهذا ما سيقودنا إلى تبيان التنافرات dicordances وأهمية الطغيانات والانحسارات، والثغرات التي سبقتها أو تلتها مستندين إلى قانون هوغ Haug الذي يرى أن كل انحسار في منطقة مقعرية synclinale يكون معوّضاً بطغيان فوق رقعة قارية والعكس بالعكس.

هذا وسيكون تحليلنا حقاً عبارة عن "تعاقب منسجم لجغرافيات متآخذة" (م.جينيو)، وذلك على شكل فيلم، أصبح أسلوباً حقيقياً للتحقيق، نستطيع بواسطته عرض الاستمرار بين تمثيلاتنا reconstitutins في الفراغ، ووجود أحواض كبيرة ذات نوع من الاستمرار والتي تقدم أطرافها لوحدها حركية لا تهدأ. وهكذا نرى أن التاريخ الكلي للترسب ليس أكثر من تعاقب لدروات رسوبية بحرية تجري في هذه الأحواض. ويبتدئ كل من هذه الدورات بطغيان بطيء، كي ينتهي بانحسار أكثر سرعة على الغالب.

فإذا كان الترسب مستمراً في وسط الحوض، فإن التذبذبات البحرية قد تركت، على العكس، أكثر آثارها وضوحاً على السواحل، إذ تظهر هنا الدورات المختلفة منفصلة عن بعضها بثغرات أو بتشكلات قارية. وهكذا تكون كل دورة معينة قابلة لطابق جيولوجي، وستكون قيمة طابق ما، كما عرفناه من وجهة النظر الجغرافية القديمة، كبيرة كلما كانت الدورة، التي تقابله، تحتل مجالاً أكثر اتساعاً.

وتتوافق المعطيات الباليئونتولوجية، على العموم، مع هذا التعرف الباليوجغرافي للطابق.

هذا وتحصل التعديلات الجغرافية الكبرى، بالواقع، في مطلع وفي آخر كل دورة، وهي التي تسمح بتجدد العوالم الحيوانية، لأن البحر الطاغي يجلب عادة

معه وحيشاً جديداً، وفي خلال الانحسار، تسهل المساحات الأرضية الواسعة هجرات الحيوانات والنباتات. وهكذا أمكن تعريف وتحديد العصر ومعنى هجرات الثدييات أثناء العصر الثالث.

كما أمكن إثبات وجود، خلال الأزمنة الجيولوجية، أقاليم حيوانية Zoologiques حقيقية، مماثلة لأقاليمنا الحالية. وقد سبق أن رأينا أن ترسبين من نفس السحنة والعمر يضمان المستحاثات المميزة ذاتها، ولكن قد يصدف أن ترسبين معاصرين تقريباً ومتماثلين من حيث السحنة قد يتميزان بمستحاثات مختلفة. ويعود ذلك إلى تدخل شروط جغرافية عامة سببت تفرد شخصية كل إقليم. وواجب الاختصاصي أن يقرر فيما إذا كان هذان الإقليمان من أصل مناخي (إن الشروط الجغرافية في مصب كل من نهر الإيسكو والرون متماثلة لكن العالمين الحيوانيين فيهما مختلفان) أو فيما إذا كانا ناتجين عن حادثات عزل جغرافي (يؤلف المحيط الأطلسي حاليا حاجزا يستحيل اجتيازه بالنسبة لبعض الحيوانات، حاجزا لم يكن موجودا في الكريتاسي وفي الثلاثي حيث كانت الوحيشات متشابهة، كما كان برزخ السويس، قبل حفر القنال، يفصل وحيشين مختلفين).

فمثلا، خلال الكاربونفير والبرمو- ترياس، كانت أمريكا وأفريقيا الجنوبية، وشبه الجزيرة الهندية وأستراليا متحدة لتؤلف قارة واسعة، هي قارة غوندوانا، التي كان نبيتها ووحيشها، المختلفين عن نبيت ووحيش قارة شمال الأطلسي، كانا ناتجين عن مناخ أشد قساوة (وجود فترات جمودية في تلك العصور).

وفي خلال الجوراسي الأعلى والكريتاسي كان هناك أيضا إقليمان، إقليم شمالي وإقليم رومي (البحر الأبيض المتوسط) حار يتميز كل منهما بنطاق آمونيات مختلف عن الآخر. وفي هذه الفترة أيضا قامت بعض العضويات الاستعمارية، مثل المدخات، بمباشرة هجرة نحو الجنوب بعد أن تفرد نطاق استوائي أكثر حرارة.

ويبدو تاريخ الثدييات مختلفاً تماماً حسبما نواجهه في أمريكا الشمالية أو في أمريكا الجنوبية، لأن هاتين الكتلتين، المتصلتين حالياً ببرزخ ضيق، كانتا منفصلتين خلال القسم الأعظم والحقب الثالث بواسطة حاجز محيطي.

إن مفهوم الطابق الجيولوجي، كما فهمناه الآن، هو أكثر قبولاً وإدراكاً بما لا يقاس، مما تصوره الجيولوجيون القدامى المنشغلين خاصة بالمشهد الليتولوجي. إن طابقاً جيولوجياً ما هو إلا عبارة عن مشهد حقيقي، شطر من تاريخ الأرض، شطر متفرد جيداً بصفاته الجغرافية القديمة، والباليئونتولوجية والمناخية.

قائمة التقسيمات الكبرى للأزمنة الجيولوجية

الأحقاب	المنطومات	الطوابق
الرباعي	هولوسين (الحجري الحديث)	الفلاندري
(الرابعي)		تيريني
(Anthropozoique)	بليئيستوسين (الحجري القديم)	صقيلي
آنتروبوزوئي		
		كالابري (فيللافرانشي)
		آستي
	بليوسين	بليزانسي
		ساحلي (بونتي)
	ميوسين	فيندوبوني
		بورديغالي
	أوليغوسين	آكيتاني
الثلاثي		شائي
(الثالثي)		ستامي
(Cenozoique)		سانوازي
	إيوسين	لودي
		بارتوني
		لوتيسي
		إيبريسي
		سبارناسي

الأحقاب	المنظومات	الطوابق
		ثانيتي مونتي داني كريتاسـي أعلـى (نيـو كريتاســـي) ... سينوني توروني سينوماني
الثاني (Mesozoique)	الكريتاسي	آلبي كريتاسى أسفل (إيو كريتاسى)... آبتى بارّيمى (أورغونى) هوتريفي فالانجيني (بوربيكي) بورتلاندي (تيتونى) جوراسى أعلى (مالم)... ... كيميرجى سيكواني روراسي أوكسفوردي كالوفي جوراسي أوسط (Dogger) باتوني باجوسي آآليني توراسي جوراسى أسفل........ شارموتى (لياس) سينيموري
الثاني (ميزوزوئى)	الجوراسي	

الأحقاب	المنطومات	الطوابق
		هيتّانجي ريثى
	ترياس	كوبر موشلكالك حث مبرقش
الأول (الباليزوئي) (Paleozoique)	البرمي	زشتين أو تورانجى ساكسوني أوتوني
	الكاربونيفير (الفحمي)	فحمى Houiller (ستيفاني) (وستفالي) دينانتي (كولم)
	ديفوني	فامنّي فراسني جيفيتي إيفيلي غوبلنسي جيدينّي داونتوني
	سيلوري	غوتلندي أوردوفيسي
	كامبري	بوتسدامي آكادي جيورجي
	ما تحت الكامبري infracambrien ما قبل الكامبري (آلغونكى) آركي	

الأحقاب	المنطومات	الطوابق
	القشرة البدائية؟	



الفصل السابع

جغرافية القبة السماوية

الفصل السابع

جغرافية القبة السماوية

معالم القبة السماوية

ملاحظة 1- الجرم الذي يعد مركز القبة للإنسان هو: الأرض.

ملاحظة 2- تدور الأرض حول محورها: من الغرب إلى الشرق.

ملاحظة 3- إن حركة القبة السماوية تظهر على الأرض: من الشرق إلى الغرب.

- علل: حركة القبة السماوية بالنسبة للأرض حركة ظاهرية وليست حقيقية.

ذلك لأن الأرض فعلياً هي التي تتحرك وتدور حول نفسها من الغرب إلى الشرق بين أجرام سماوية ثابتة الموقع، تظهر لنا من موقعنا على الأرض وكأنها تدور من حولنا من الشرق إلى الغرب.

- علل: حدد العلماء معالم بارزة ومواضع مرجعية لتحديد معالم القبة السماوية.

ذلك حتى يتفق العلماء على تحديد الأجرام السماوية فتستخدم في تحديدها على القبة السماوية.

1. السمت والنظير.

- عرف السمت: هو النقطة الواقعة على القبة السماوية وتكون عمودية فوق رأس الإنسان وهو واقف.
- عرف النظير: هي النقطة الواقعة على القبة السماوية المقابلة للسمت عمودياً أسفل قدمي الإنسان.

ملاحظة: الخط الواصل بين السمت والنظير يمر دائماً في مركز الأرض.

2. القطبان السماويان:

- عرف القطب الشمالي السماوي: هي النقطة الواقعة على القبة السماوية على امتداد الخط الواصل بين مركز الأرض والقطب الشمالي للأرض.
- عرف القطب الجنوبي: هي النقطة الواقعة على القبة السماوية على امتداد الخط الواصل بين مركز الأرض والقطب الجنوبي للأرض.

ملاحظة 1- ينطبق السمت والنظير مع القطبان السماويان لشخص يقف: في القطب الجنوبي أو يمكن أن يكون القطب الشمالي.

ملاحظة 2- يتعامد السمت والنظير لراصد القطبين السماويين: على خط الاستواء.

3. دائرة الأفق:

عرفها. هي الدائرة العظمى على القبة السماوية تبعد عن السمت والنظر مسافة زاوية 90 درجة.

- علل: لا يشاهد الراصد الفلكي دائرة الأفق.

ذلك بسبب انحناء سطح الأرض الكروي.

ملاحظة: الذي لا يشاهد الإنسان (الراصد): دائرة الأفق.

- ما الفرق بين الأفق الظاهري والحقيقي؟

الأفق الظاهري يكون دائماً أعلى من الأفق الحقيقي (أو بالعكس) يعني أن الأفق دائماً أسفل من الأفق الظاهري.

ملاحظة: الأفق الظاهري يوازي الأفق الحقيقي.

4. دائرة الزوال:

عرفها. هي الدائرة العظمى على سطح القبة السماوية التي تمر بالقطب الشمالي السماوي والسمت والمنطقة الشمالية من الأفق، وتمر كذلك بالقطب الجنوبي السماوي والنظير والمنطقة الجنوبية من الأفق.

ملاحظة 1- إن دائرة الأفق تتعامد مع: الخط الواصل بين السمت والنظير ودائرة الزوال.

ملاحظة 2- إن دائرة الزوال توازي: الخط الواصل بين القطبين السماويين والخط الواصل بين السمت والنظير.

- وضح أهمية دائرة الزوال للراصد:

1. تحدد وقت منتصف النهار حين تمر الشمس في دائرة الزوال أي بعد 12 ساعة تمر الشمس في دائرة الزوال ولكن أسفل الأفق.
2. يحدد منتصف الليل بعد 12 ساعة من غروب الشمس.

5. دائرة استواء السماء:

عرفها. هي الدائرة العظمى على سطح القبة السماوية وتميل 90 درجة من القطبين السماويين (دائرة خط الاستواء).

من أين تنتج دائرة استواء السماء وكيف تقسم الأرض؟

هي ناتجة من امتداد مستوى دائرة السماء مع دائرة استواء الأرض (مستوى دائرة الاستواء الأرضي مع القبة السماوية) وتقسم الأرض إلى نصفين شمالي وجنوبي.

6. دائرة الساعة:

عرفها. هي الدائرة العظمى على سطح القبة السماوية التي تمر بالجرم السماوي (المراد رصده) وبالقطبين السماويين الشمالي، الجنوبي.

7. دائرة البروج:

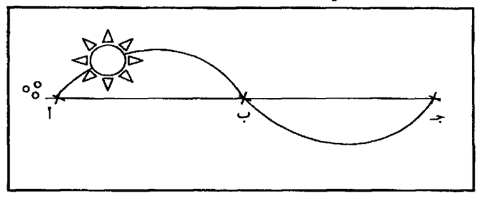
عرفها. هي الدائرة العظمى التي تصنعها الشمس في حركتها الظاهرية حول الأرض على قبة السماء في أثناء سنة كاملة.

الشكل البياني الشمس الظاهرية بالنسبة للرصد (دائرة البروج):

أ. نقطة الاعتدال الربيعي.

ب. منطقة الاعتدال الخريفي.

ج. منطقة الاعتدال الربيعي.



شكل (1)

ملاحظة 1- الزاوية بين مستوى دائرة البروج ومستوى دائرة استواء السماء مقدارها 23.5

ملاحظة 2- تعرف نقاط تقاطع دائرة البروج مع دائرة استواء المساء ب: الاعتدال الربيعي والخريفي.

ملاحظة 3- الزاوية بين مستوى دائرة البروج مع القطبين السماويين مقدارها 66.5.

تحديد نقطة الشرق الجغرافي الحقيقي:

هل موقع الشمس ثابت أم متغير أثناء الشروق والغروب وإن كان متغيراً فكيف يتغير؟

1. موقع شروق الشمس متغير طول السنة.
2. شتاءً تبتعد نحو الجنوب الشرقي الحقيقي.
3. صيفاً تبتعد نحو شمال نقطة الشرق الحقيقية.

- في أي الأيام تشرق الشمس، تغرب من موقعها الحقيقي؟

في يومي الاعتدال الربيعي والخريفي.

- كيف يمكنك تحديد موقع الشرق بدقة؟

1. بتحديد مكان شروق الشمس في أحد يومي الاعتدال الربيعي الخريفي أو الخريفي.
2. باستخدام بوصلة معزولة تماماً عن أي مواد جديدة.

- كيف تبدو حركة النجوم الظاهرية في القبة السماوية.

1. لراصد موجود في القطب الشمالي: تكون الحركة الظاهرية للأجرام السماوية حركة دائرية بشكل أفقي متعامدة مع المحور الذي يصل بين السمت والنظير.
2. لراصد موجود في أعلى خط الاستواء شمالاً: تكون بيضاوية الشكل ولكن أقرب إلى الدائرة.
3. لراصد موجود عند خط الاستواء: يكون بيضاوياً تماماً.
4. لراصد موجود أسفل خط الاستواء جنوباً: تكون بيضاوية ولكن أقرب إلى الدائرة.

الإحداثيات السماوية الاستوائية:

- عرف خط الطول: هو البعد الزاوي للموقع شرقاً أو غرباً مقيساً بواسطة الدرجات وأجزائها.
- عرف خط العرض: هو البعد الزاوي لذلك الموقع شمالاً أو جنوباً من خط الاستواء الأرضي مقيساً بالدرجات وأجزائها.
- عرف خط غرينتش: هو خط وهمي يمر بالقطبين الشمالي والجنوبي وبقرية غرينتش قرب لندن.
- وضح طريقة التقسيم لخطي الطول والعرض بناءً على الساعات؟

كل 360 درجة ← 24 ساعة.

؟ ← 1 ساعة

كل درجة يقابلها 24/ 360= خمس ساعات 1/ 5

القاعدة: كل ساعة تقابلها 15 درجة.

- إذا كانت الساعة عند خط غرينتش (عند خط طول = صفر) الواحدة ليلاً، وكانت الساعة في الأردن هي الرابعة فجراً. فكم يكون خط الطول للأردن تقريباً.

الحل:

موقع الأردن: كل ساعة ← 15 درجة

3 ساعات ← ؟

9= 3×15=45 درجة شرق غرينتش.

- إذا كانت الساعة في الأردن 11.30 وهي تقع على خط طول 45 درجة، كان خط الطول لمدينة نيويورك هو 75 درجة غرب غرينتش.

كم الساعة تكون في نيويورك؟

الحل:

كل ساعة ← 15 درجة.

؟ ← (75+45) = 120

120 /15= 8 ساعات (تأخير عن الأردن)
11.30 − 8 = 3.30 فجرا وهو الحل.

- عرف ميل جرم سماوي: هو بعد ذلك الجرم السماوي عن دائرة استواء السماء مقيسا بالدرجات وأجزائها ومرورا بدائرة الساعة الجرم أي (مثل خط العرض).

- عرف الصعود المستقيم للجرم السماوي: هو البعد الزاوي بين الدائرة المارة في القطبين السماويين والجرم السماوي (دائرة الساعة) والخط الواصل بين الأرض ونقطة الاعتدال الربيعي مقيسا بالساعة وأجزائها (خط الطول).

- نجم، الصعود المستقيم له هو 40 درجة. قام الراصد برصده تماما. وبعد مضي 4 ساعات رصد نجما آخر عند نفس النقطة. ما الصعود المستقيم لهذا النجم؟

الحل:

1 ساعة ← 15

4 ساعات ← ؟

؟ = 60 ← الصعود المستقيم له = 40 + 60 = 100 درجة.

ملاحظة: إذا كان الصعود المستقيم لنجم أكثر من 180 فإننا نطرح الزاوية من 180 درجة، لكي نحصل على الصعود المستقيم الصحيح.

- وضح المقصود بالكوكبات: هي مجموعة نجوم تظهر في قبة السماء على شكل معين وهي موجودة في جميع الاتجاهات.

- علل: تبقى أشكال الكوكبات ثابتة عبر بضع مئات السنين.

إن حركة النجوم على القبة السماوية بطيء جداً إلى درجة يحتاج فيه النجم لآلاف السنين كي يغير موقعه، بالتالي فإن أشكال الكوكبات يبقى ثابتاً تقريباً عبر مئات من السنين.

- علل: نرى النجوم في السماء متخذة شكلاً معيناً مع أنها بعيدة عن بعضها البعض.

لأن إسقاطات مواقع النجوم الثلاثية الأبعاد على سطح القبة السماوية تبدو كما لو كانت قريبة من بعضها فتتخذ شكلاً معيناً.

- علل: أشكال الكوكبات عبر ثابت ويتغير عبر آلاف السنين.

ذلك لأن الكوكبة النجمية لا تكون بالضرورة قريبة من بعضها وليست مرتبطة بالضرورة جذبياً من بعضها البعض، وحيث أن لكل نجم حركة خاصة به فإنه لا توجد حركة مشتركة لكل نجوم الكوكبة النجمية لذلك تتغير مع الزمن الطويل.

ملاحظة: إن النجوم المكونة لكوكبة نجمية لا تكون بالضرورة قريبة من بعضها وليست مرتبطة بالضرورة جذبياً ببعضها بعضاً فهي قد تكون بعيدة عن بعضها في الفضاء الفسيح، ولكن إسقاطات مواقعها الثلاثية الأبعاد على سطح قبة السماء يبدو كما لو كانت قريبة من بعضها.

نقطة الاعتدال الربيعي: عرفها. هي نقطة تقاطع دائرة البروج مع دائرة استواء السماء والتي تشرق الشمس فيها من الشرق الحقيقي.

ملحق 1:

- علل: يشبه النظام الإحداثي السماوي النظام الإحداثي المستخدم في الجغرافيـة الأرضية.

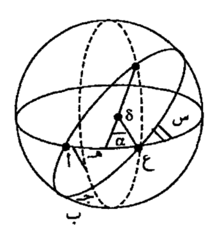
[اكتب تعريف خط الطول، قارنه بتعريف الصعود المستقيم ثم عرف خط العرض وقارنه بتعريف الميل، فينتج الجواب].

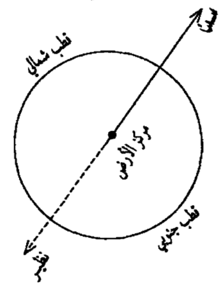
- علل: لا يرى النجم القطبي من النصف الجنوبي للكرة الأرضية.

ذلك لأن موقع النجم فوق القطب الشمالي مباشـرة وهـو ثـابت في ذلـك الموقع لذلك لا يمكن رؤيته.

كيف يمكنك تحديد الشمال الجغرافي ليلاً بوساطة النجوم؟

بواسطة النجم القطبي الموجود دائماً فوق القطب الشمالي.





شكل (2)



الفصل الثامن

النبيت والوحيش

الفصل الثامن

النبيت والوحيش

1. النبيت والوحيش في العصر الأول:

لم يتطور العالم النباتي خلال الكامبري أبداً وظل مائياً. فقد تكاثرت بعض الطحالب algues الدنيا، كما أدت ترصعاتها (ستروماتوليت) إلى تشكيل كتل هامة من الصخور الكلسية. غير أن العالم الحيواني تكامل ويمكن القول أن الإطارات الكبرى للتصنيف وجدت منذ ذلك العصر. وبالتالي يبدو أن الطور الرئسيي؛ أي الطور المسؤول عن تميز وتفرد هذه المجموعات الكبرى، قد تحقق قبل الكامبرى، وربما خلال ما قبل الكامبري.

ومن جهة النظر التطبيقية، فإن معظم المجموعات الحيوانية، وكلها بحرية، كانت ممثلة فيه بواسطة أشكال لا تحوي على كبير أهمية، كذلك الأمر بالنسبة للمنخربات، والإسفنجيات، والمدوسات، وشوكيات الجلد (مثانيات، زنبقانيات) وصفيحيات الغلاصم، ومعديات الأرجل والديدان. غير أن بعض المكامن تمتاز بجودة حفظ مستحاثاتها. تلك هي حالة مكمن بورجس Burgess الشهير في انكلترا، حيث أشار العالم والكوت إلى وجود ديدان وقثائيات البحر التي تكون أقسامها الرخوة مصانة بأدق تفاصيل تركيبها.

غير أن هناك ثلاث مجموعات تأخذ فيها أهمية تطبقية كبيرة وهي: Archaeocyathides وعضديات القدم وثلاثيات الفصوص. فالأولى هي أشكال خداعة، تُضم حالياً للإسفنجيات، وكانت تعيش على شكل مستعمرات وقد كانت أرصفتها تستوطن بحار الكامبري الأدنى والأوسط في العالم قاطبة: وتكون

الصخور الكلسية ذات Archaeocythus هي بالأساس صخور مميزة لهذه العصور.

أما عضديات الأرجل الكامبرية فتعتبر أكثر المجموعة بدائية وتنتسب إلى عديمات المفاصل inarticules. وتتألف من Lingules ومن Obolus والتي يعثر عليها بكثرة في بعض التشكلات الصخرية الرملية الساحلية.

أما ثلاثيات الفصوص فإن دورها التطبقي يبدو هنا، ومنذ ظهورها الغزير، مكان الصدارة. فكثير منها يكون كامبرياً خالصاً. تلك هي أجناس Olenellus (بوتسدامي)، Paradoxites (آكادية)، Olenus (جيورجي)، Sao، Conocoryphe، Dikelocephalus، Ellipsocephalus (إهليلجيات الرأس)، Agnoostus و Ogygia التي دامت أيضاً في السيلوري.

فبعض الأجناس استخدمت لتمييز الطوابق وكثيراً منها تعرف نطاقات استحاثية، وخاصة في اسكنديناڤيا، حيث أمكن إقامة 15 نطاقاً عثر عليه جزئياً في انكلترا، وفي أمريكا الشمالية. وقد سمحت بعض الأجناس بتوضيح مقاطعات مناخية في الكامبري. ولنذكر أخيراً ظهور بعض القشريات مثل أوائل الجبابرة في أمريكا، في سحن بحرية.

وفي السيلوري، اجتاز النبيت خطوة للأمام، ومع أنه لايزال غير معروف تماماً، فإنه يسمح بالافتراض بأن خفيات الإلقاح الوعائية ظهرت فيه. ويظهر أن الهجرة العابرة؛ أي انتقال النباتات البحرية إلى الحياة الأرضية عن طريق التواؤم التدريجي، لدى كل المجموعات الكبرى من الكائنات البحرية. لذا سنتحاشى إذن، ابتداءً من هذا العصر، سرد كل المجموعات الممثلة وسنكتفي بذكر تلك التي قدمت مستحاثات مميزة.

ويجب أن نذكر، من بين اللافقاريات الدنيا، المدخات Polypiers الممثلة بواسطة المرجانيات الرباعية (Zaphrentis، Cyathophyllum) التي تنتسب للحقب الأول حصراً، واللاحشويات Alcyonaires والمائديات Tabules (Halysites، Favosites) وأخيراً الـ Stromatoporoides. وكل معائيات الجوف

هذه، التي تعتبر أكثريتها كمستحاثات جيدة، هي من ناحية أخرى، بنّاءة أرصفة مرجانية وساهمت بتشكيل الصخور الكلسية في كل أجزاء الكرة الأرضية، لأن توزيع الأرصفة كان في ذلك العصر مستقلاً عن الشرائط المناخية. وأجمل الأرصفة السيلورية هي الموجودة في جزيرة غوتلند بالسويد (غوتلندي).

وهناك معائيات جوف أخرى، أكثر أهمية أيضاً، هي الغرابتوليت Graptolithes، التي تثقب عيدانها الصغيرة المسننة، بواسطة أنقاضها، السحن الشيستية السيلورية. ويمكن القول إن هذه هي عبارة عن مستحاثات سيلورية حقيقية. وبما أنها تخص الأعماق البحرية، لذا سيكون توزعها الجغرافي كبيراً وبما أن تبدلاتها قد تعاقبت بسرعة كبيرة جداً في الزمن، لذا فتعتبر مستحاثات ممتازة على الصعيد النطاقي: وهكذا أمكن تحديد 15 نطاقاً في الأوردوفيسي و 16 في سكانيا، كما أمكن العثور على كثير منها في باقي أوروبا وحتى في أمريكا وأستراليا. وتظهر ابتداءً من قاعدة السيلوري (الأوردوفيسي) وهي أشكال خاصة نوعاً ما، من شبكيات reticules وأشباه الشجريات (Diplograptus) dendroides، ثم تظهر في باقي الأرودوفيسي أشكال تحمل أسناناً صغيرة (Loges) على طرفي المحور (Diplograptus)، ونماذج يتصف محورها بالتشعب (Didymograptus)، أو مسطح (Phyllograptus). أما الأشكال البسيطة التخطيطية، فلا تصادف إلا في السيلوري الأعلى (غوتلندي) (Monograputs)

ومن بين شوكيات الجلد، انتشرت الزنبقانيات بشكل كثيف، وبراري الزنبقانيات هي التي تقع في قاعدة الكلس ذي الأنتروك الذي يُعثر عليها فيه.

أضف إلى ذلك المثانيات (Echinosphaerites) تكون نامية جداً في هذه الفترة وخاصة في السيلوري الأعلى، ولكن أخينوسات (قنفذيات) Oursins، فرغم وجودها، لم تكن قد وصلت بعد إلى توسعها.

وقد تكاثرت مجموعة عضديات الأرجل في السيلوري وأعطت الكثير من الأنواع المميزة وخاصة من أجناس Obolus، Atrypa، Petamerus، Conchidium، Spirifer، choneties، orthis... الخ، أما اللنغولات فتعتبر على

الغالب مستحاثات سحنة. وينطبق الأمر نفسه بالنسبة لبداية ثلاثية الفصوص، كما أمكن تحديد نطاقات استحاثية عديدة استناداً إلى أنواع من جنس Trinucleus، بالنسبة للسيلوري الأسفل. هذا وتملك أجناس سيلورية خاصة الالتفاف حول ذاتها مثل Calymene، Asaphus، Phacops، كما بلغ أحجاماً كبيرة جداً مثل Illaenus، Asaphus مثلاً. وكان معظمها من الحفارات وتصادف في السحن الشيستية ولكن عثر على بعض منها، مع ذلك، في السحن الساحلية مثل صخور الحث والصخور الكلسية. وعلى كل تشير نهاية السيلوري إلى تقهقر واضح في مجموعة ثلاثية الفصوص مع استمرار الجبابرة أو العقربيات.

ومن بين الرخويات يستخدم نوع واحد من ذوات المصراعين في التطبيق وهي Cardiaeinterrupta، والتي تكثر في الصخور الكلسية الغوتلندية ولكن رأسيات الأرجل انتشرت كثيراً في صخور هذا العصر وبلغت فيه ذورتها مع ظهور Nautiloides (Orthoceras، Cyrthoceras، Lituites...الخ). بينما ظهرت فيه أشباه الأمونيات بكشل متواضع مع جنس Agoniatites، وهو حد الـ Goniatities، كما أن معديات الأرجل لا تتمثل في هذا العصر، كمستحاث قابل للاستخدام، سوى جنس Conularia.

وأخيراً ظهرت في السيلوري الأعلى أوائل الأسماك وهي أشكال مصفحة بدائية جداً تنتسب إلى جنس قوقعيات الجلد.

ولا زالت الحياة تتكاثر في الديفوني ونحن مضطرون أن نختار من بين الأشكال المستحاثة، أكثرها أهمية من الناحية الطبقية أو تلك التي لعبت دوراً في تشييد الرسوبات. وقد استأنفت مجموعة عديدات الأرجل تطورها فكانت ممثلة بواسطة المرجانيات الرباعية، التي تستخدم بعض أجناسها كدليل تبطقي مثل Calceola مع النوع التقليدي Calceola sandalina في الإيفيلي Eifelien. هذا وتضم الـ Tabules (من الجوفمعويات) أيضاً بعض الأنواع المميزة مثل: Pleurodictyum Problematicum المحصورة في الكوبلنزي. أضف إلى ذلك الغرابتوليت، باستثناء بعض أشكال أشباه الشجريات.

وإ ذا كانت القنفذيات (الأخينوسيات) Oursins والمثانيات والبرغمانيـات، وهي جميعاً في شوكيات الجلد، قد تعرضت إلى تناقض؛ فإننا نرى أن الزنبقانيـات ظلت د ائمـاً مهيمنـة وبـرزت منـها النجميـات Asterides. ونجـد هنـا معظمـك أجناس عضديات الأرجل السيلورية ولكنها تكون ممثلـة بواسـطة أنـواع مختلفـة ومميـزة وخاصـة مـن بـين Spirifers. وهنـاك جنسـان وهمـا Stringocephalus وunc ites يعتبران خاصين بالتشكلات الرصيفية الديفونية.

وتسـتحق الرخويـات إشـارة خاصـة. فـإذا كـانت صفيحيـات الغلاصـم ومعدِيات الأرجل لا تضم أشكالاً هامة فإن رأسيات الأرجل قـد شـهدت نمـواً باهراً في ذلك العصر. ولم تعد نجد Orthoceres حقيقة، كما أن الـ Nautiloides لم تعـد ممثلـة إلا بأشـكال خصوصيـة جـداً مسـتقيمة (Phragmoceras، Gomphoceras)، ومقوسة (Cyrthoceras) أو حتـى ملتفـة (Gyroceras). كمـا أخذت أشباه الأمونيات بالانتشار ابتداءً من الديفوني الأوسط، بحيـث اسـتخدم الأشكال البحرية الملساء منها، مثل Goniatites، في إقامة النطاقـات الاسـتحاثية. ومن بين الأجناس البديعة من الـ Goniatites نذكر Anarcestes, Agoniatites و Parodiceras من الديفونـي الأسـفل والأوسـط و Gephyroceras في الديفونـي الأعلى (أن نوع G.intumescens هـو مسـتحاثة نطـاق عـالمي). وهنـاك أشـكال أخرى مثل Clymenies تميز خاصة الفامني Famennien الأعلى في أوروبا.

ويبدأ انحطاط ثلاثية الفصوص مع الديفوني: غير أن فصيلة واحدة ظلـت سائدة هي عائلة Phacopides (Dalmanites, Phacops). وجنـس واحـد يعتـبر حقا مـيزا للديفونـي، وهـو جنـس Cryphaeus. ولكـن هنـاك قشـريات أخـرى أخذت تنتشر فجأة وهي أشكال جبارة ظهرت في الكامبري وتنتسـب إلى فصيلـة محارات الجبابرة (Pterygotus و Eurypterus) متميزة جدا هنـا بمظـاهر لاغونيـة لصخور (الحث الأحمر القديـم) أو علـى شـكل Ostracodes دقيقـة (Entomis, Cypridina) التي تكاثرت جدا في بعض السحن الشيستية لقمة الديفوني.

وتمثل الفقاريات أسماكاً مدرعة (Cephalaspis ،Pteraspis) التي تشكل استمراراً للأشكال مصفحات الجلد Placodermes السيلورية والتي تميز بدورها (الحث Sandstone الأحمر القديم)، و Selaciens (سمك القرش)، وأخيراً اللامعات Ganoides (Holoptychius).

وهناك أمر هام تجدر الإشارة إليه من وجهة النظر إلى العالم النباتي، وهو ظهور ابتداء من الديفوني الأسفل، نباتات ذات نسيج وعائي أصيل، وهي Psilophytales وأوائلها تعتبر بدائية جداً (جنس Psylophyton)، ولكنها تظهر بآن واحد في أمريكا وفي أوروبا، ثم تأتي في الديفوني الأوسط لتشترك معها خفيات إلقاح أخرى عديدة مستنقعية في مكمنين شهيرين هما في Rhynie (إيقوسيا) وفي البرفلد (بروسيا الرينانية) (Rhynia ،Hornea ،Asteroxylon، Hyenia ،Cladoxylon... إلخ). وفي آخر الديفوني تكامل النبيت أيضاً بانضمام نماذج أرقى في التنظيم مثل فصيلة أوائل المفصليات Proto-articulees (أجداد Calamariees الكاربونيفيرية)، وasteroxylacees، وبعض أشكال بدائية من السرخسيات (Paleopteridales) وlycopodiales، بحيث أن كل شيء كان مهيئاً للانتشار المقبل للنبيت، الكثر التنوع والكثافة، للعصر البرموكاربونيفيري الكبير.

والواقع هو أن هذا النبيت البرموكاربونيفيري هو أفضل أمثاله معرفة بفضل المكامن الفحمية الوفيرة التي أوجدها وبفضل الخدمات التي قدمها لعلم التطبق (14 نطاقاً من النبات تنتسب إلى الفحمي Houiller البحت) أي إلى طابقين هما الوستفالي والستيفاني (نسبة إلى سانت اتيان في فرنسا). وقد كان هذا النبيت شديد التنوع، وكل شيء يدل على أنه بلغ درجة خارقة من الكثافة. ويعرف منه على الخصوص فئات مستنقعية، لأن هذه النباتات هي التي ساهمت، بالأساس، في تشكل الفحم الحجري، وهي Lycopodiales شجرية (Lepidodendrons وsigillaires)، وأشجار ضخمة بلغ ارتفاعها 25م وحتى 30م، مجتمعة مع Equisetales شاسعة (Calamariees) التي انبثقت من بساط

نباتي عشبي مائي مؤلف مـن فصيلـة Sphenophylles، ومـن Lycopodes ومـن Selaginelles. وإلى جانب هذه القيعان المستنقعية كـان يعيش علـى المرتفعـات المجاورة نبيت أكثر جفافاً كانت عناصره الرئيسـة مؤلفـة مـن سرخسـيات بدائيـة (Sphenopteridees, Pecopterides, Paleopteridales) ومن خفيات إلقاح قديمـة جـداً Pteridospermees أو ((السرخسـيات ذات البـذور)) (Alethopteris، Lonchopteris، Callipteridium، Neuropteris، Linopteris، Odonpterris، Mixoneura، Mariopteris... إلخ) والـ Cordaitales التي تستر أنقاضها صخور الفحم في سانت ايتان.

وقد نتج عن النهوض النهائي للسلسلة الهيرسينية في نصف الكرة الشمالي، خلال البرمي، ذلك النهوض الذي عدَّل بشكل عميق البيئات الطبيعية، نتج عنـه اتجـاه جديـد للنبيـت وأدَّى إلى انحطـاط معظـم المجموعـات الآنفـة الذكـر (Cordaitales, Sphenophyllales, Sigillaries والسرخسيات ذات البـذور) وإلى انطفاء الـ Paleopteridales والـ Lepidodendrons. وعلى كل ظهر فيه سرخسية بذرية Pteridospermee وحيدة بشكل كيثـف وهـي جنـس Callipteris وجنـس Walchia مماثلة إلى Araucarias الحالية (وهي من صف المخروطيات الـتي تنبـت بالشيلي وأستراليا) وهي الممثلة الوحيدة للمخروطيات في تلك الفترة.

أما في نصف الكرة الشمالي فقد كان ذلك الانتقال أقـل وضوحـاً، إذ كـان هناك مجال قارة غوندوانا المتميزة بنبيتها الخاصة من السرخسـيات: Glossopteris وgengamopteris والذي يغطي الكاربونيفير والبرموترياس والذي يعزى وجوده لمناخ أكثر برودة ناجم عن توسع الجموديات. ونجد هذا النبيت مع تعديل بسـيط في سيبريا وفي روسيا الأوروبية (قارة آنغارا).

وهذا ويضم الوحيش البرموكاربونيفيري، نماذج بحرية وبحيريـة قاريـة. ومـن بين الفئة الأولى نجد مجموعة المنخربات التي كانت أشـكال جبـارة، منتشـرة بشـكل غزير وتستخدم عادة في تطبق التشكلات البحرية في ذلك العصر وتتألف غالباً مـن شعيريات في السحنات الحيوانية البرية ومن Schwagerines في السحن البحرية.

ونجد خلال الكاربونيفيري (الفحمي) الأدنى (ديناتي) أرصفة من المرجانيات الرباعية (Zaphrentis، Amplexus، Cyathaxonia، Dibunophyllum، Syringotheris... إلخ) مجتمعة مع بعض Tabules وstromatoporoides. ويستند تطبق الديناتي ذاته في انكلترا في معظمه، على نطاقات المدخات. ومن بين القنفذيات (الأخينوسات) نجد أن Palechinides هي المتفوقة، كما أن بعض الزنبقانيات تساهم أيضاً في تشكل الكلس ذو الـ entroques، وإذا كانت المثانيات قد بادت فإن البرعمانيات هي التي ستبيد بدروها في آخر الحقب الأول وكانت في هذه الفترة؛ أي الديناتي، في أوج انتشارها.

ونذكر من بين عضديات الأرجل فصيلة Productiedes (جنس Productus) التي قدمت أفضل الأنواع المستعملة في التطبق. ويتميز جنس من الحزازيات الحيوانية، وهو جنس Fenestella، بطبقاته الرقيقة الرصيفية التي شكلها في الديناتي، ويجتمع فيها أحياناً مع Chaetetides. وهنا نشاهد نهاية ثلاثيايت الفصوص التي اقتصرت على جنسين هما Phillipsia و Griffithites استمرت منها واحدة حتى البرمي. وأخيراً ننوه بشدة انتشار الحشرات، بأشكال عملاقة، وخاصة أوائل مستقيمات الأجنحة وأوائل زوجيات الأجنحة. كما كانت بعض أجناس القشريات القارية (Estheria، Leaia) تستوطن البحيرات الساحلية المالحة (اللاغونات) منذ العصر الكاربونيفيري.

وتنتسب صفيحيات الغلاصم بصورة خاصة إلى أجناس بحرية Schizodus و Posidonomya ولكن هناك أشكالاً بحيرية مثل Anthracosia، Anthracomya وNaiadites تقدم بعض أنواع مميزة. وتكون معديات القدم غالباً من أنواع بحرية تنتسب إلى جنسي Euomphalus وbellerophon. ومن بين الرخويات تكون مجموعة رأسيات الأرجل هي التي تستمر في احتلال المقام الأول مع أشباه الأمونيات، التي أمكن إقامة عدة نطاقات منها من أجل تطبق الكاربونيفير. وأكثر الأجناس في البرمي وحل محلها مجموعات أخرى هي: Prolecanitides، Medlicttides وceratitides.

أما من ناحية الفقاريات، فإن الزواحف قد انتشرت بواسطة مجموعتين من Prosauriens (الحراذين) البرمية وخاصة من الحوتيات Theromorphes، وهي حيوانات كبيرة القامة، ذات أشكال غريبة أحياناً وذات تواؤمات مختلفة استوطنت قارة غونوانا خلال البروموترياس (Labidasaurus ،Pareiasaurus، Dimetrodon ،Naosaurus ،Dicyrodon...إلخ). كما أن البرمائيات كانت أيضاً ممثلة بنماذج كبيرة الحجم، اختفت كلياً، وهي فصيلة سقفيات الرأس Stegocephales. وهذه تعرف خاصة عن طريق سرفاتها المجهزة بغلاصم خارجية (Branchiosaurus, Pnotriton) وتكثر في طبقات الفحم الحجري في كومنتري (ستيفاني) وفي الشيست البيومي في أوتون (برمي). وهناك (Archegosaurus) أخرى ذات قامة أكبر ومفترسة.

ولا زالت الأسماك ممثلة بأشكال عضروفية مثل: فصيلة كلاب البحر (سمك القرش)، وGenoides، ومزدوجات التنفس Dipneustes (أسماك تتنفس بغلاصم وبرئتين).

النبيت والوحيش في العصر الثاني:

إن معارفنا عن الوحيش والنبيت البحري والأرضي للترياس على أحسن ما يرام، لأنه هنا أيضاً، تكثر رسوبات السحن المختلفة خلال هذه الفترة.

وليس هناك أمر هام يجدر التنويه به بالنسبة للبروزيات Protozoaires. وتكون الإسفنجيات ممثلة خاصة بواسطة مجموعة ساحلية من إسفنج كلسي وخاصة في التيرول (مكمن سان كاسيان). وتظهر المرجانيات السداسية لأول مرة في الأرصفة النادرة المؤلفة من عديدات الأرجل في الترياس الألبي، لأن المرجانيات الرباعية اختفت تماماً قريباً. ويجب أن نذكر، من بين الزنبقانيات، نوعاً مميزاً جداً يكثر في الكلس ذو الأنتروك في الموشلكالك: Encrinus liliiformis. وكذلك الأمر بالنسبة لعضديات القدم، فإنه فيما عدا بعض الأجناس النادرة ذات القرابة مع مثيلاتها في الحقب الأول، والتي تلاشى بعضها في الترياس، يجدر بنا أن نضع جانباً

مجموعتي ألـ Terebratulides والـ Rhynchonellides التي تكثر ممثلاتها في الموشلكالك: Coenothyris communis التي تعتبر مستحاثة جيدة مميزة.

وأكثر القشريات وجوداً في الترياس هي Estheria، وهي أشكال صغيرة ثنائية المصراعين، وقد سبق التعرف عليها بالحقب الأول، والتي تصادف في السحن اللاغونية في الترياس الجرماني.

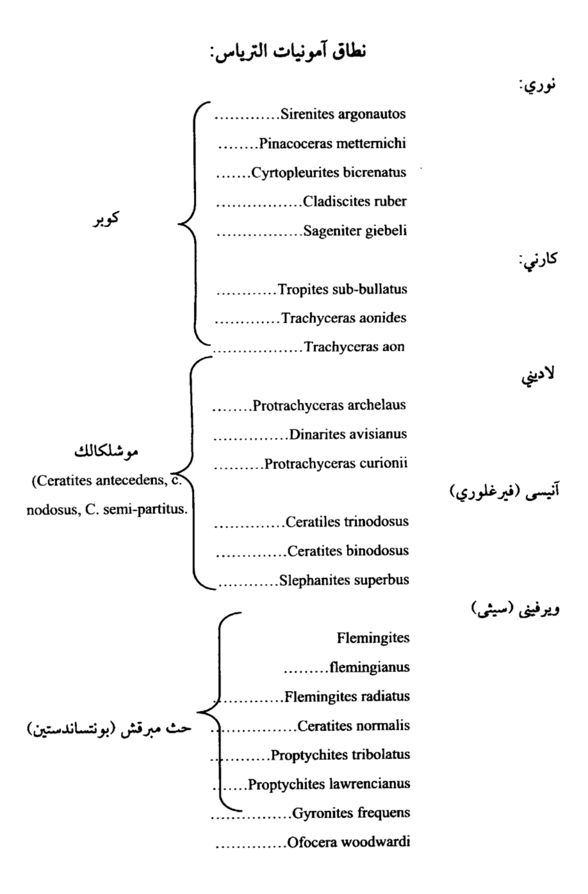
ولكن هناك ثنائيات المصراعين الأخرى، التي تنتسب إلى صفيحات الغلاصم، كانت أيضاً شديدة الانتشار في الموشلكالك، وهو طابق من الترياس الأوسط يطلق عليه الاسم نفسه ولنذكر أيضاً ألـ Gervilies وبلح البحر Moules، والمحار وثنائية المصراع Limes، وpeigner (شعار شركة شل) الخاصة بالسحن الجرمانية و Daonelles وpseudomonotis وhalobia في الترياس الألبي. بينما تكون معديات الأرجل، في سِحَن ساك كاسيان، بجبال الألب الشرقية، غنية بأشكال متنوعة.

وستلعب أشباه الأمونيات هنا أهم دور وخاصة مجموعة الـ Ceratites، الكثيرة الانتشار في الموشلكالك والتي تقوم بعض أنواعها بتعريف نطاقات استحاثية. ولكن الترياس الألبي يتفوق بشكل أكبر بكثير على الترياس الجرماني من وجهة النظر هذه، فإذا كنا نجد فيه قليلاً من الـ Ceratites، إلا أن الأمونيات الأخرى تكون فيه عديدة ومتنوعة (مثل مكمن هالشتاد): ونذكر منها Arcestes وpinacoceras في الترياس الأوسط والأعلى، و Trachicerasو monophyllites في الترياس الأعلى.

والفقاريات الترياسية هي عبارة عن أسماك (جنس Ceratodus) وضفدعيات مصفحات الرأس Stegocephales وزواحف (ديناصوريات و Theromorphes) التي ظلت بصمات أقدامها، المميزة جداً، محفوظة كثيراً على صفائح صخور الخرسان (الحث) الأحمر الذي يمثل الرمال الكثبانية في صحاري ذلك العصر.

هذا ويشتمل النبيت القاري الترياسي أيضاً على بعض نماذج عتيقة ولكنه يتميز بأحد أشباه المخروطيات coniferales كثير الانتشار هو Voltzia heterophylla وبعديد من الأمسوخات الشتوية Preles الجبارة انتشرت خلال الكوبر Keuper. ولننوه أيضاً بوجود الـ Gynkgoales، وbennettitales وcycadales. وفي العصر نفسه، أخذ النبيت الخاص بقارتي غوندوانا وآنغارا بالانحطاط، وأصبح النبات منسجماً فوق كل الأرض. أما في البحار فإن مجموعة السفونيان Siphonees هي التي كانت تهيمن في هذا الحين، كما كثرت بقايا الـ Diplopores أو Gyropor في بعض صخور الترياس الكلسية الجرمانية والألبية، كما أن بعض أنواعها ليمكن استخدامها كمستحاثات مميزة.

نطاق آمونيات الترياس:



ويتميز العصر الجوارسي خاصة بوحيشه.غير أن النبيت استمر، بالفعل، رغم أنه فقد بعض النماذج العتيقة التي امتدت بها الحياة، أقول استمر في الوحيش الترياسي نفسه الذي أخذ بالتكامل فيه: وقد كانت السيكاسيات Cycadophytes (Bennettilales وcycadales) تؤلف فيه القسم الأعظم مع عاريات البذور الأخرى، وذلك خلالا الحقب الثاني كله، بحيث أن هذا العصر كان حقاً عصر عاريات البذور. ولكن أشباه المخروطيات Coniferales لم تتخذ1 طابعاً حديثاً إلا ابتداءً من الجوارسي الأعلى، عصر رأى ظهور أوائل النماذج البنيوية الحالية. وهناك بعض عاريات البذور النادرة التي تعتبر هامة من وجهة النظر الاستحاثية، لأنها تبدو وكأنها تبشر بظهور مغلفات البذور التي ظهرت في الكريتاسي. ولنضف إلى ذلك القول أن لاغونات الجوراسي الأعلى (البوربكي) كانت تجتاحها الطحالب (الشارا Chara) التي ساهمت بتشكل صخور الكلس في ذلك العصر.

وسيتميز الوحيش الجوراسي بازدهار الأمونيات والزواحف، وبظهور البرمائيات العديمات الذيل والطيور (Archaeopteryx)، كما تضاءل عدد النماذج القديمة لأدنى حد والقليل جداً من الفصائل التي يمكن اعتبارها كخاصة بذلك العصر.

ونذكر من بين البروزيات خاصة الشعاعيات، التي شكلت صخوراً سيليسية تدعى راديولاريت وبعض المنخربات البحرية مثل الغلوبيجرين، ونقعيات مثل الـ Calpionelles التي تكثر أحياناً في الصخور الكلسية البحرية في التيتوني. وأخذت الإسفنجيات السيليسة (Hexactinellides وlithistides) في هذا العصر بالانتشار الكبير في بعض السحن (طابلق قديم يدعى بالماضي Spongitien وحالياً آرغوفي) حيث ينتج عن تراكم قواقعها الصغيرة تشكل صخوراً تسمى gaizes أو Spongolithes.

إن جميع المدخات Polypiers هنا هي عبارة عن مرجانيات سداسية وتظهر أهمية الأرصفة التي شكلتها خاصة بوساطة الصخور الكلسية البيضاء الرصيفية اللوزيتانية (كان يدعى قديماً الطابق المرجاني). وكانت اللاحشويات

alcyonaires الوفيرة هي Cancellophycus (= Siprophyton) وهي آثار لولبيـة متناثرة، منسوبة إلى Gorgonides. واحتفظت الزنبقانيات بأهميتها ويجدر بنا ذكـر بعـض الأجنـاس الخاصـة: Pentacrinus اللياســة، Apiocrinus في الجوارســي الأوسط و Millericrinus في الجوارسي الأعلى ولكــن الصخـور الكلسـية ذات الأنتروك التي نتجت عن تهشيم أنقاضها توجد خاصة في الجوارسي الأوسط.

ولقد تكاثرت القنفذيات (أخينوسات) الحقيقية، التي ظهرت بالترياسي مع فصيلة السيداريات Cidarites، واستخدمت كمسـتحاثات مميزة: وأكثرهـا وفـرة هي أجناس Collyrites، Clyplus، Stomechinus، Glyptichus وcidaris.

وتمثـل عضديـات الأرجـل الجوراسـية أشـكالاً سـاحلية في معظمـها (Rhynchonelles و Terebratules) وأشكالاً ذات سحن عميقة مثل الـ Pygopes (أو Terebratules ذات قشرات رقيقة، مثقوبة) تميز الجوارسـي الأعلـى. وتطـاول الأمد ببعض المجموعات القديمة، مثل الـ Spiriferines حتى الجوارسي الأوسط.

وهذه بضعة من صفيحيات الغلاصم التي تعتـبر خاصـة بالجوارسـي، ولا سيما الـ Diceratides، التي تنتسب لمجموعة خاصـة مـن الروديسـت والـتي كـان ظهورها في ذلك العـهد. وهنـاك الــ Aucelles الـتي تمـيز، مـع بعـض رأسـيات الأرجل، منطقة شمالية من الجوارسي، كما كـثرت ألــ Astrates وبعـض المحـار المسماة غريفيه Grypees في بعض الطوابق، كما تحتوي معظم السـحن الشيسـتية على Posidonomyes. ونجد القليل من معديات الأرجل المميزة، غير أن السـحن الرصيفية تحتوي مع ذلك على الكثير من النيرينات Nerinees، كما تتميز بعـض السحن الوحلية بوفرة الـ Pteroceras (قديماً طابق Pterocerien).

ويقوم تطبق الجرواسي كله على الأمونيات التي تكاثرت فروعـها بـإفراط مذهل في هذا العصر. ونصادف فيها كل أنماط التطور، تطور قصير، تطور بطـيء مع تنوعات عديدة، وتطور بطيء دون تعديل كبير.

وقد يحدث هذا التطور محلياً، أو في مناطق مختلفة، بفضل الهجرات الكثيفـة أو الفجائية. وبما أن كل هذه الحيوانات كانت من السابحات الماهرة، فإن توزعـها

في وقت ما قد يكون كبيراً جداً، وعلى الأرجح في السحن العميقة (أشكال ملساء) ولكن أحياناً أيضاً في سحن ساحلية (أشكال مزخرفة). لهذا كان من اللازم القيام باختيار في هذا الخليط من الأمونيات. ومن بين الأشكال التي لا تحصى، علينا أن نمنح الأفضلية لأكثر الفروع غنى بطفرات جيدة والتي كان تبعثرها أكثر أمثاله في فترة معينة. ولكن، إجمالاً، يمكن القول أن الياس الأسفل يتميز بوجود الـ Arietides والليباس الأسفل بالـ Amaltheides، والليباس الأعلى بوجود Harpoceras التي يضاف إليها الأجناس الثلاثة Sonninia، Oppelia، Parkinsonia في الجوارسي الأوسط، وتفوقت في خلال الكالوفي - الأوكسفوري أجناس Macrocephalites، Cardioceras و Reineckeia وشهد الجوارسي الأعلى حدوث انتشار الـ Gravesia والـ Perisphinctides التي تعتبر بعض أشكالها، مثل الـ Virgatites، كمميزة لإقليم شمالي.

نطاقات الأمونيات في الجوارسي.

البورتلاندي

تيتوني أعلى	H. chaperi, Hoplites progenitor, perisphinctes snex
تيتوني أوسط	Berroiasella و Perisphinctes contiguus
تيتوني أسفل	Oppelia lithographia
بونوني	Perisphinctes bonionensis
	Pachyceras (Gravesia) Portlandicum

الكيميرجي

فيرغولي	Aulacostephanus pesudomutabilis, Aspidoceras caletanum, A. Orthocera
بيتروسيري	Oppelia (streblites) tenuilobata, Rasenia cimodoce
لوزيتاني	
سيكواني	Perisphinctes Achilles (Astartien)
رواسي	Peltoceras bicistatum (= P. Bimammatum)

آرغوفي	Peltoceras transversarium, Ochetoceras canalicuatum
أوكسفوردي	Cardioceras cordatum
	Cardioceras Mariae
	Cardioceras Lamberti, Peltoceras athleta
كالوفي	Reineckeia anceps
	Macrocephalites macrocephalus
باتوني	Oppelia (Clydoniceras) discus
	Oppelia aspidoides
	Oppelia fusea
باجوسي	Cosmoceras (Garantia) Garanti, Parkinsonia
	Parkinsoni و Oppelia subra diata
	Romani و Oppelia subradiat
	Sphaeroceras (Emileia) Sauzei, S. (Stepheoceras)
	Humpheriesianum
	Sonninia Sowerbyi, Withchellia Laeviuscula
آآليني	Harpoceras concavum
	Harpocceras Murchisonae
	Harpoceras Opalinum
	Dumortieria Pseudoradiosa, D. Levesquei
	Harpoceras (Pleydiella) aalense
توارسي	Lytoceras Jurens
	Harpoceras bifrons
	Harpoceras falciferum
شارموتي	Amaltheus spinatus { دومري

	Domerien	Amaltheus margaritus
	بليانسباشي	Deroceras Davoei, Aegoceras capricorun
		Polymorphites Jamesoni, Phylloceras ibex
	Pliensbachien	Deroceras armatum
سينيموري	لوثارنجي	Arieties (Echioceras) raricostatus
	Lotharingien	Arietites (Echioceras) rariocostatus
		Oxynoticeras oxynotum
		Arietites (Asteroceras) obtusus
		Aegoceras Planicosta
		Arietites (Asteroceras) Turneri,
		Deroceras Birehi
	سينيموري	Rietites (Arnioceras semicostatus
	S. str	Arieties Bucklandi
هيتانجي		Schlotheimia angulata
		Psiloceras Planorkis
ريتي		أمونيات في جبال الألب الشرقية فقط

وهناك رأسيات أرجل أخرى، مثل البيلمانيات Belemnites، تكثر أيضاً وتنتشر، في كل السحن، في الجوارسي، ولكنها لا تعلب فيه أبداً دور الأمونيات التطبقي. وقد صنفت الأشكال استناداً إلى اتجاه الشق البطني لخرطوم القوقعة، وهكذا فإن فقدان هذا الشق يميز أشكال اللياس الأسفل والأوسط (Paxillosus وB. Excentricus) وتظهر في اللياس الأعلى أشكال ذات شق بطني يبدأ من رأسي المتك أو الخرطوم (B. irregularis و B. gigantius) وابتداءً من الجوارسي الأوسط، لا يظهر هذا الشق إلا فوق المتك أو الخرطوم (Belemnopsis hastatus). ويظهر شكل شمالي، Cylindrotuthis، في الجوارسي الأعلى ليحل

محل الأشكال السابقة، بينما تظهر في مناطق البحر الأبيض المتوسط نماذج ذات خرطوم منقعر أو Duvalia.

كما شهد العصر الجوارسي أيضاً انتشاراً كثيفاً للزواحف في أشكال مختلفة من حيث القامة والتي كانت تتواءم مع كل البيئات.

ومن بين هذه الأشكال نذكر الـ ichthyosaures والـ Plesiosaures وتماسيح بدائية ومدرعة كانت تستوطن البحار، وفوق الأرض كانت تتطور دينوصوريات ضخمة من ذوات الأربع، وديعة وآكلة عشب، تعتبر من أكبر الحيوانات المعروفة (مثل Diplodocus) ولكن كان يجاورها حيوانات مفترسة رهيبة من ذوات الرجلين (مثل Ceratosaurus)، كما كان المجال الجوي مأهولاً بـ Pterosauriens و Pterodactyles و Ramphorhynchus.

ولنتذكر أن جد الطيور ظهر في الجوارسي الأعلى مع صفات زواحفية أكيدة (وهو Archaeopteryx) (في الكلس الطباعي في سولنهوفن) وأن بعض أوائل الثدييات اللامشيميات بدأت تظهر منذ الريتي بالنسبة لعديدة الدرنات Multitubercules، وبالنسبة للكيسيات في الباتوني.

وهناك أمر يشير إلى مطلع العصر الكريتاسي، ألا وهو ظهور مغلفات البذور ونباتات ذات أزهار. وكان هذا الظهور المفاجئ مصحوباً فوراً بتعدد فريد للنماذج فوق كل القارات، وهذا ما دعا للقول أن الكريتاسي كان حقب مغلفات البذور. ومن جهة أخرى أخذت كل النماذج العتيقة بالتلاشي وتجدد النبيت كله بدوره في الكريتاسي الأعلى، بحيث تستطيع كل عناصره أن تدخل في إطارات تصنيفنا الحالي.

وتتأف لافقاريات الكريتاسي في بادئ الأمر منن المنخربات التي تكاثرت في الحوار، وتتألف بعض السحن البحرية أو الساحلية من (غلوبيجرين، Rosalines، Lagenas، Miliolides). وقد جاءت لتضاف إلى هذه الأشكال الجهرية منخربات جبارة، مفيدة جداً في التطبق، مثل الـ Orbitolines في الكريتاسي الأسفل و Miliolides trematophores و Orbitoides في الكريتاسي الأعلى.

أما مجموعة الإسفنج، التي كانت تمثلها دوماً الـ Hexactinellides، Lithistides وبعض الصخور الكلسية، فقد كانت في أوج توسعها. وقد تؤلف الإسفنجيات السيليسية بعض الطبقات الرقيقة الرصيفية في السينوني في بعض المناطق (البروفانس).

وابتداءً من ذلك العصر أصبحت أرصفة المدخات، التي بدأت تنحدر تدريجياً باتجاه مناطق البحر الأبيض المتوسط، الأكثر حرارة، في خلال الجوارسي، أصبحت محصورة في هذه النطاقات. ويميز جنس Cyclolits فيه الكريتاسي الأعلى. استمرت بعض الستروماتوبور Stromatopores حتى السينوماني في مناطق شارانت (غرب فرنسا) حيث انطفأت.

وكانت تتمثل شوكيات الجلد ببعض الزنبقانيات (Marsupites وuintacrinus) ذات الملامح العتيقة، وخصوصاً بوساطة القنفذيات oursins التي أتمت هنا تطورها وتستخدم كثيراً كمستحاثات مميزة: ومن وجهة النظر هذه، نذكر خاصة فصيلة Spatangides (آكلات الوحل irreguliers limivores) التي تقدم مختلف أنواع الـ Toxaster فيها سلماً طبقياً بالنسبة للنيوكومي Neocemien. ونجد في الكريتاسي الأعلى، أن بعض القنفذيات تكون هي أيضاً مميزة جداً (Holaster و hemipneustes و Ananchytes) ويمكن استخدامها لإقامة نطاقات استحاثية (باليئونتولوجية) (Micraster).

وقد سبق لمجموعة عضديات القدم أن فقدت معظم أجناسها، وإذا استثنينا الـ Terebratulides والـ Rhynchonellides، التي تمثلها أفراد عديدة، فإنه لا يمكننا أن نسرد كأشكال مفيدة سوى بعض صغار عضديات القدم الساحلية في الحوار مثل Crania وthecidea.

وهناك بعض فصائل صفيحيات الغلاصم، مثل فصيلة incoeramides تقدم خدمات من وجهة النظر الطبقية لدرجة أمكن إقامة سلالم حقيقية لـ inocerames لتصنيف الكريتاسي الأعلى في بعض مناطق أوروبا الوسطى. وهناك أشكال لا تكون فيها أبداً نادرة، وخاصة الـ Nuculides و

Pholadomyes وPlicatules في السحن الوحلية، والمحار في السحن الأقرب للسواحل Exogyres وalectryonies)، وأخيراً الـ Aucelles في المناطق الشمالية التي تتميز بها في الكريتاسي وفي الجوارسي. ولكن أشهر صفيحيات الغلاصم هي الروديست (التي لا تزال تسمى Pachyodontes) التي كانت تلعب في أثناء الكريتاسي دوراً لا مثيل له، سوءاً بصفتها كمستحاثات مميزة وكعضويات بناءة للصخور. وقد أخذت بالتكاثر بشكل خاص ابتداءً من الأورغوني في مناطق البحر الأبيض المتوسط مع أجناس Requinia و Toucasia (باريمي - آبتي أسفل) و Polyconites وhoriopleura (آبتي أعلى)، Caprina، Hippurites وراديوليت (سينوماني - داني).

وإلى جانب ذلك لم يكن لمعديات الأرجل سوى دور ضئيل جداً فلا نستطيع أن نذكر منها سوى الـ Acteonelles في الكريتاسي الأعلى للبحر المتوسط والنيرينية Nerinees في السحن الرصيفية الأورغونية. وعلى كل حال تكثر في السحن القارية لمنطقة البروفانس (جنوب فرنسا) أشكال غير ملتفة مثل Lychnus في الداني.

وهذا واستمرت مجموعة الأمونيات خلال كل الكريتاسي مع نفس العنفوان ولم تتلاش إلا في الداني. وهنا أيضاً أمكن تمييز نطاقات استحاثية في الطوابق الرئيسية. وبعد الأشكال الملساء في السحن العميقة مثل الـ Phylloceratides وlytoceratides و Desmoceratides نجد أشكالاً ذات قواقع مزخوفة، أكثر قرباً للساحل مثل أجناس Hoplites وMortoniceras وdouvilleiceras وSchloenbachia.

ولنضف إلى ذلك أن جنس simbirskites هو الذي يميز الباريمي في المنطقة الشمالية وإن Polyptychites تميز الهوتريفي ومجموع Polyptychites وgarnieria و Craspedites هو الذي يميز الفالانجي.

هذا وتستخدم بيلمنيتات الكريتاسي عادة في التطبق. كما استمرت Belemnopsis الجوراسية في الكريتاسي الأعلى كما برز جنس Pseudobelus

الذي كان فيه الشق الظهري أو المتك rostre واقعاً في المنطقة النخروبية أو السحنية. ولكن تكاثرت بشكل خاص البيلمنيتات المبسطة (Duvalia) مع أنواع نيوكومية جيدة.

وتجاه هذه الأشكال في منطقة البحر الأبيض المتوسط والتي لم تتجاوز الألبياني، تقابلها أشكال المنطقة الشمالية Cylindroteuthus الجوراسية التي استمرت في الكريتاسي الأدنى، وظهرت البيلمنيتات في التوروني وتطورت حتى نهاية السينوني وأعطت عدة أنواع مميزة.

ويجب أن نذكر الأسماك من بين الفقاريات، وانتشار العظميات Teleosteens، التي ظهرت في اللياس، ومن بين الزواحف كان استمرار الدينوصوريات (iguanodon، Tracholon) وظهور الـ Ceratopsiens (Triceratops)، وأسطفوريات Stegosauriens (Steposaurus) و Mosasauriens أو ثعبانيات الشكل Pythonomorphes وهي مجموعات محصورة في الكريتاسي الأعلى.

وأخيراً لا نجد الطيور ذات الأسنان العائدة لكريتاسي الأعلى إلا في هذا الوقت، وبالتالي في هذه الأراضي، وفي منغوليا، أمكن منذ عهد قريب، اكتشاف أقدم الثدييات المشيمية المعروفة (Deltatheridium و Zalambdalestes) التي يبدو أن لها صلات نسب مع آكلات الحشرات.

نطاقات العمونيات في الكريتاسي.

داني	Nautilus danicus لا توجد عمونيات
مايستريشتي	Bostrychoceras Polyplocum, Baculites anceps
كامباني	Placenticeras bidorsatum
سانتوني	Mortoniceras Texanim
كوينياسي	Barroisiceras, Tissotia
توروني	Mammities nodosoidses, Vascoceras
سينوماني	Acanthoceras rothomagens, Scaphites, aequalis

Avanthoceras Mantelli و Schlonbachia varians	
Mortoniceras rostratum, Soliczkaia disper	آلبي
Turrilites Bergeri (فاركوني)	
Mortoniceras Hugardianum, M. varicosum	
Hoplites dentatus, Douvilleiceras mamilatum	
Hoplites tardefurcatus, Douvilleiceras mamilatum	
Acanthoplites Bigoureti	
Oppelia nisus (Gargasien). Hoplites Deshayesi	آبتي
Anculoceras Matheronu (بيدولي)	
Macroscaphities Yvani	باريمي
Pulchellia Pulchella	
Hoplites angulicostatus	
Desmoceras difficile	
Crioceras Duvali	هوتريفي
Hoplites radiatus	
Hoplites neocomiensis	فالانجي
Hoplites Boissieri et H. ponticus (بيريازي)	

نبيت ووحيش العصر الثالث:

ابتداءً من الدور الثالث لم يعد النبيت مختلفاً عن النبيت الحالي إلا من حيث توزع الأجناس.

وهكذا أخذ العامل المناخي يحتل مكانة كبرى من حيث الأهمية. فبعد الطغيانات (التجاوزات) الكبرى في الكريتاسي الأعلى، أخذ الانحسار الذي تدشن في العصر الثالث يعيد للقارات المشهد الذي كانت عليه في الكريتاسي الأسفل، ولكن النطاقات المناخية راحت تتعدل تدريجياً، في حين جنحت الحرارة

العامة للكرة الأرضية نحو الانخفاض حتى العصر الحالي. لهذا أخذت العناصر المدارية تنتقل تدريجياً نحو الجنوب كي تحل محلها أشكال معتدلة أو باردة، وهكذا بدأت تستقر مختلف نطاقات النبات التقليدية في أماكنها.

أما الوحيش فقد كانت أكثر تقلصاً وتميزاً بكثرة أشكال جبارة من المنخربات وبشدة تنوع الثدييات التي ظهرت في كل مكان خلال هذا العصر.

وكان هناك مجموعتان من المنخربات متصفتين بانتشارهما الكبير: وهما الفلسيات (فلسيات Assilines) التي أعطت اسمها للعصر النموليتي، ومجموعة Orbitoides (Orthophragmines، Lepidocyclines، و Miogypsines) وإليك: توزعاتها:

الميوسين	Miogypsines
أوليغوسين	Lepidocyclines وفلسيات صغيرة
إيوسين أعلى	Orthophragmines وفلسيات صغيرة
إيوسين أوسط	Orthophragmines، Assilines فلسيات كبيرة وصغيرة
إيوسين أسفل	Orthophragmines وفلسيات صغيرة

أما النخاريبيات (السنخيات)، التي ظهرت في الكريتاسي، فقد تكاثرت خلال الدور الثالث، ولكنها لا تقدم أشكالاً مميزة، مثل Milioles، و Orbitolites وكبار المنخربات التي أتينا على ذكرها، بل تساهم في تشكيل الصخور الكلسية ذات الأصل العضوي.

هذا ونصادف أرصفة من المدخات (بوليبات) في المناطق الرومية (البحر الأبيض المتوسط) وبعض عديدات الأرجل المنعزلة في النطاقات الشمالية. كما تنتشر القنفذيات خاصة في التشكلات البحرية القريبة من القارة العائدة لصخور المولاس الميوسينية وأكثرها شهرة هي أجناس Clypeaster، Scutella، Echinolampas.

ولقد حقق عالم الحشرات خطوة للأمام مع ظهور النباتات ذات الأزهار ونعرف الكثير من مكامنها وأشهرها من ناحية حفظ المستحاثات هو مكمن العنبر في الأراضي الأوليغوسينية لمنطقة سامالاند على ساحل بحر البلطيق.

وتتكون الرخويات المستعملة في تطبق الثلاثي من السيريت Cerithes بالنسبة للعصر النموليتي (إيوسين وأوليغوسين) وفصيلة Pectinides بالنسبة للنيوجين (ميوسين وبليوسين) وتقدم هذه الفصيلة مستحاثات مميزة عديدة.

وإذا استثنينا الثدييات التي تقدم خلال كل العصر الثالث خدمات قيمة منم أجل إقامة تزامنات على مسافات طويلة، فلا يمكن أن نذكر من بين الفقاريات كمجموعات هامة سوى الأسماك، المعروفة خاصة بوساطة أسنان سمك القرش التي تكثر غالباً في بعض الرسوبات، والطيور المجهزة بمنقار التي ظهرت في هذه الفترة.

هذا ويستند التقسيم الدقيق للطوابق على وحيشات متعاقبة مؤلفة من الثدييات أمكن العثور عليها، بطول أناة، ضمن مكامن العالم قاطبة، ففيما يتعلق بالإيوسين الأوربي يقدم الثانيتي Thanetien أوائل عديدات الدرنات Multitubercules الثلاثية وبعض ألـ Creodontes (مثلاً مكمن Crenay – les– Reims) وفي السبارناسي ظهرت أوائل وحيدات الإصبع imparidigites (Ayractherium) والضعيفات القدم Amblypode مثل Coryphodon (كما في مكمن مودون قرب باريس) وفي الإيبسيري ظهر جنسا Lophiodon وprotodichobune (ذوات الظلفين Paridigite). وفي اللوتيسي تكاثرت الـ Lophiodons ونلاحظ ظهور أجناس Propaeotherium و Dichobune (مثلاً: مكمن التشكلات الثلاثية الغنية بفلز الحديد في Ergenkingen في سويسرا وlissieu في منطقة الرون). والوحيش المسمى البارتوني مع أواخر فصيلة الـ Lophiodontides والـ Palaeotherides العديدة، فقد ظهر في الليدي Ledien (بارتوني) في حين أن الليدي يتميز بتعايش أجناس Palaeotherium وanoplotherium، Xiphodon (مكمن جبس مونتمارتر).

وفي مطلــع الأوليغوســـين، كـــان السانورازســـي يضـــم، إلى جـــانب Anoplotherium وxiphodon، أوائـل فصيلـة الكركدنيـات و Anthracotherides (مثل مكمن رونزون بمقاطعة Velay) والفصيلة الأخيرة استمرت مع الكركدنيات (Aceratherium) وأواخر Paleotherides، في الستامي (غضاريـات سـان هـانري قـرب مرسـيليا، وفرسـفوريت كيرسـي) وحتـى في الشـاتي Chattien (كبـار الـــ Anthracotherium و Aceratherium في الصخورالكلســـية البيضـــاء بمنطقـــة Agenais). وابتداء من الآكيتاني تلاشت الـ Anthracotherium الحقيقية وأضحى الوحيش الستامي بحالة مفتقرة جدا (مكمن سان جيران لوبوي، بمقاطعة Allier).

وأخيرا نشير إلى ظهور أجداد الخرطوميات (أشباه الفيل) (Maeritherium وpalaeomastodonts) منـذ الأوليغوسـين، في مصـر، وظـهور أوائـل القرديـات catarrhiniens مثل Proplioplithecus والـ Parapithecus التي يمكن تصنيفها مع فرع البشريات Hominiens.

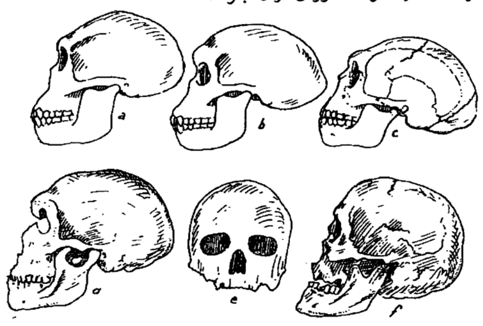
واجتاحت الخرطوميات أوروبـا في الميوسـين (Mastodon، Dinothorium) شأن فئة Anchitherium، وستستمر خلال الفيندوبوني والبونتي وحتى البليوسين الأسفل مصحوبة بالخيليات في البونتي وفصيلة الكركدن التي تميز أنواعها المتعاقبة مختلف الطوابق. وسيشهد البليوسين الأعلى اندثار أواخر الماســتودونت وظـهور الفيلة، والحصان والثور. وخلال هذا الزمن تفردت مختلف فروع القردة الشــبيهة بالإنسان، في حين أن فرع الإنسانيات تمدد حتى البليوسـين، وهـو العصـر الـذي أعطـى خلالـه فـرع مـا قبـل الإنســانياتPrehominiens وفـرع أشـــكال australopithecoides (Australopithecus).

نبيت ووحيش العصر الرابع:

يتصف مطلع الفترة الرباعية بتبرد عام، فتعرض شمالي أوروبا وأمريكا وكل الكتل الجبلية إلى زحوف جمودية. ويعتبر اثنان من هـذه الزحـوف خاصـة، هـامين، وهما الأخيران، ويظهران منفصلين بحقبة بين جمودية مصحوبة بتسخن في الحـرارة. وبعد الحقبة الجمودية الأخيرة، جاء تسخن جديد يمهد فورا للحقبة الحالية.

وتقهقرت الغابات الكثيفة، التي استقرت فوق القارات خلال البليوسين، نحو الجنوب، ولكن بينما كانت الكتل الجبلية في أوروبا، ذات الاتجاه العرضاني السائد، كانت تلعب دور حاجز إذ أصبحت كمحنة قاسية للنبيت الذي ظل فيها محروماً من عناصره الحارة، كان الوضع الطولاني للجبال في القارة الأمريكية، على العكس، موائماً لهذه الهجرات، وكذلك الحال بالنسبة لعودة نباتات البليوسين في فترة التسخن التالية.

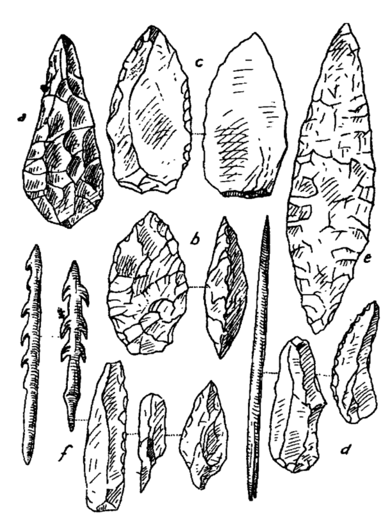
ولوحظ في أوروبا الغربية، تعاقب ثلاثة أنواع رئيسية من النبيت: فلور شبه قطبي، توندرا، أو فلور ذو Dryas (D.octopetala) رافق تقدم الجمودية القارية باتجاه الجنوب، وإلى الجنوب من ذلك ظهر نبيت سهبي من نجيليات وشجيرات صغيرة مع أشجار الصنوبر والسندر، وأخيراً نبيت حراجي مع مخروطيات (ابيسيئا Epiceas) وذات أوراق (زان، بلوط).



شكل 158 المراحل الكبرى لمراحل البشرية فيما قبل التاريخ. أولاً، المرحلة الأنثروبية (ما قبل الإنسانيات) a، إنسان - قرد جاوا. b، الإنسان الصيني لمنطقة شوكوتين (قرب بكين). c، الإنسان الإفريقي لتانغانيكا. ثانياً، المرحلة النياندرتالية. d، إنسان نياندرتال لمنطقة Farrassie ثالثاً، مرحلة الإنسان العاقل المستحاث. e، إنسان كرومانيون. f، إنسان شانسلاد.

ويستطيع هذا التعاقب الذي يظهر في المكان، أن يظهر محلياً في الزمان، على الشاقول نفسه، وذلك في التوضعات بين الزحوف الجمودية الرباعية في شمال أوروبا.

وستؤثر الشروط المناخية أيضاً على تقلبات صروف الوحيش. كما أن البحار التي لم تختلف حدودها كثيراً عن حدودها الحالية، لم يختلف فيها وحيش الرخويات عما هو عليه حالياً، إلا من حيث هجرة بعض الأجناس أو تلاشيها. ويضم الوحيش الصقلي (الرباعي الأسفل، زحف جمودي مندل) بعض الأنواع البائدة البليوسينية وأشكالاً باردة (Cyprima islandica). وخلال الفترة التيرينية لم يحدث تلاشي أي أنواع تقريباً، ولكن التسخن الناتج عن (الفترة الفاصلة بين الزحف الجمودي المنديلي والريسي) سمح بوصول أنواع سينغالية (Strombus bubonius)



شكل159 الصناعات الأوربية لما قبل التاريخ. a، سلاح صواني شيللي (Abbevillien). b، سلاح صواني آشولي (وجه ومقطع). c، شظية موستيرية. d، أداة أورينياسية (إبرة من عظم مشقوقة وشفرتان من الصوان). e، صوان على شكل ورقة الغار سولوترية. f، أداة مجدلينية (حربتان من قرن وعل الرينه وصوان مختلف).

ولم يتشكل الوحيش الحالي ابتداء من تلك الفترة إلا بعد تلاشي بسيط للأشكال (الحيوانية) الحارة التي ارتدت إلى مناطقها الأصلية. ولا يظهر تأثر الزحفين الجمودين (الريسي والفورمي) تقريباً على تطوير الوحيش الذي أصبح منذ ذلك الوقت مألوفاً ومماثلاً للوحيش الحالي.

ففوق القارات كانت الثدييات وهنا أيضاً، هي ذاتها، والتي سمحت بإقامة أفضل تاريخ، ويمكن أن نميز بالتعاقب: وحيشا قديماً حاراً (فيل قديم، كركدن

Merki فرس النهر (سيد قشطه)) أعقبه عالم حيواني بارد (ماموت وكركدن صوفي، رينة، ثورمسكي وعديد من القوارض). ثم سمحت شروط الحرارة بعودة الوحيش الحار، الذي طرده من أوروبا أول تبرد ناجم عن الزحف الجمودي. وكانت فقاريات كبيرة ترافق الفقاريات السابقة وهي: الحصان، الوعل، الثور الوحشي الأوروبي، الثور الوحشي الأمريكي Bison، وأخيراً الأسد ودب الكهوف، مما يشهد على وجود غابات واسعة ومناخ سهوب معتدلة.

وفي تلك الفترة كانت فرع الإنسانيات يتفرد تدريجياً، سواء في آسيا أو في أفريقيا وقد تلاشت أشكال أشباه القدرة الجنوبية خلال الدور الرابع التي كان يمثله Plesianthropus و Paranthropus، ولكن سيكون للفرع القريب من ما قبل الإنسانيات، مثل القرد الإنسان، والإنسان الصيني، والإنسان الإفريقي مصير مختلف تماماً لأنه ستنتج عنه الإنسانيات الحقيقية التي يمثلها خاصة نموذج نياندرتال، الذي يعتبر من أفضل أمثاله معرفة بالنسبة لما قبل التاريخ. وكان علينا أن ننتظر حتى الدور الرابع الأعلى كي تظهر العروق المختلفة العائدة للإنسان العاقل المستحاث مع اتجاهاتها المتنوعة: مثل أشباه المنغولي (نموذج شانسولاد) وأشباه الزنوج (نموذج غريمالدي) والأوروبية (نموذج غرومانيون).

وفي هذا الوقت يستعاض عن المستحاثات بالأدوات الصخرية المصنوعة من الصوان، التي تكون مقصوصة بخشونة (العصر الحجري القديم)، ثم تليها أدوات أكثر إتقاناً وصقلاً (العصر الحجري الجديد)، وابتداءً من هذا العصر يترك الجيولوجي مكانة للمؤرخ. وخلال العصر الحجري القديم يمكن تقصي مصنوعات عديدة تنطبق على العصر الحجري القديم مثل الشيللي (المتميز بأشكال تماثل اللوزة، مدببة من نهايتها، ومدورة من الجانب الآخر مع لمسات على كل الوجهين) والآشولي (مع أشكال لوزية مع لمسات دقيقة لجعل السلاح الصواني ذا حافات جارحة)، والموستيري (وهو شظايا خشنة الصنع على وجه واحد على شكل حروف حربة الرمح ومكاشط). وبعد هذا المجموع يأتي عصر حجري قديم أحدث، تم خلاله إتقان الأدوات المصنوعة وأعطى المراحل الآتية:

أورينياسي (شفرات من صوان جيدة التهذيب، مع أدوات من العظام التي ظهرت في هذه الفترة) والموسولوتري (وفيه صوانات رقيقة بديعة وكبيرة المقياس تسمى أوراق الغار)، والجدليني (شفرات من صوان مهذبة على شكل مكاشط وأدوات عظمية متقنة جداً). ويتميز هذا العصر بأنه عصر التقدم الرائع للفن، فن صخري خاصة، نعرف بفضله، فضلاً عن الإنسان ذاته، لأنه لا يصور ذاته إلا قليلاً، فعلى الأقل يصور نماذج الوحيش الذي كان يعيش في زمنه نفسه (ماموت، كركدن، ثور بيزون، وعل...إلخ) والذي كان يطارده الإنسان في ذلك الوقت لغاية نفعية.

المراجع

1- كوكب الأرض - ظواهره التضاريسية الكبرى- دكتور حسن سيد احمد ابو العينين- مؤسسة الثقافة الجامعية - الاسكندرية.

2- المياه الجوفية والآبار- مهندس استشاري- محمد احمد السيد خليل- دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - القاهرة.

3- هيدرولوجية المياه الجوفية - د. ديفيد كيث تورد - ترجمة الدكتور- رياض حامد الدباغ والدكتور حميد رشيد رفيق - الموصل.

4- علم الطبقات (الستراتيغرافيا) - د. عبدالله شاكر السياب - جاسم علي الجاسم - بغداد.

5-معالم سطح الأرض -دكتور جودة حسين جودة - دار النهضة العربية - بيروت .

6- مقدمة في علم البلورات والمعادن والصخور - محمد عبد الوهاب الشناوي - دار المعارف- القاهرة

7- الجيولوجيا في خدمة الإنسان- فيرنسيدز، و ج. وبولمان، أ.م ترجمة - محمد إبراهيم عطية

8- الجيولوجيا الطبيعية والتاريخية - أنور يحيى محمد، ومحمد العربي- دار المعارف - القاهرة.

9-وجه الأرض- محمد متولي - القاهرة.

10- علم الجيولوجيا- محمد لطفى عبد الخالق - محمد جابر بركات- جورج فيليب- عبد المنعم الطناني- وزارة التربية والتعليم - مصر

11- تطبيقات في الجيولوجيا العامة -د. محمد عبد الغني مشرف، دار المريخ للنشر - السعودية

12- التراكيب والخرائط الجيولوجية -د. فخري موسى نخلة - دار المعارف- القاهرة.

13- الوجيز في الجيولوجيا- ليون موريه- ترجمة د. يوسف الخورى و د. عبد الرحمن حميدة، طلاس للدراسات والنشر والترجمة

14- المرجع السهل في علوم الأرض والبيئة - إبراهيم أبو عواد - دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع- عمان -الأردن.

15- مبادئ الجيومورفولوجيا لـ(أشكال التضاريس الأرضي) ماركس ديروو - ترجمة د. عبد الرحمن حميدة

16- التصحر - د. محمد ابراهيم حسن- مركز الاسكندرية للكتاب الاسكندرية

17- الدراسة الجيومورفولوجية مناهجها ووسائل البحث الحديثة منها مجلة كلية الآداب جامعة الاسكندرية- المجلد التاسع -1965.

18- سطح هذا الكوكب - حسن سيد احمد أبو العينين وجودة حسنين- بيروت 1986.

19- الجيولوجيا، حسن صادق- القاهرة.

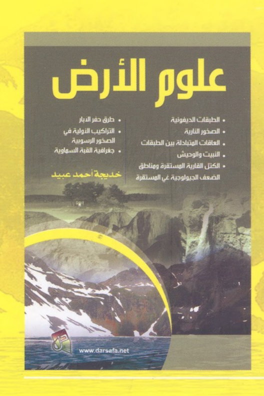
20- الجيولوجيا الهندسية - فخري موسى وآخرون - القاهرة - 1986.

21- الجيولوجيا - فيرنسيد، و.ج. بولمان .ا.م ترجمة محمد ابراهيم عطية.

22- قشرة الأرض - محمد صفي الدين- القاهرة - 1957.

23- مقدمة في علم البلورات والمعادن والصخور- محمد عبد الوهاب الشناوي - دار المعارف- القاهرة 1964م.

24- الجيولوجيا - يحيى محمد أنور، ومحمد العربي فوزي - القاهرة.







عمّان - شارع السلط - مجمع الفحيص التجاري
تلفاكس: 4612190 6 962+ ص.ب 922762 عمّان 11192 الأردن
www.darsafa.net E-mail:safa@darsafa.net